

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2008

Bc. ŠÁRKA KODYDKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Obor N3106

Zaměření: Textilní inženýrství

Katedra oděvnictví

**SOUČASNÉ TRENDY V METODÁCH HODNOCENÍ
PRODYŠNOSTI TEXTILÍ**

**CURRENT TRENDS IN THE EVALUATION METHODS
OF FABRIC PERMEABILITY**

KOD – 796

Bc. Šárka Kodydková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lea Farská

Rozsah práce:

Počet stran: 78

Počet obrázků: 36

Počet tabulek: 1

Počet příloh: 1

Květen 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 12. 5 2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Lee Farské za odbornou pomoc a ochotu při zpracování této diplomové práce.

Dále mé poděkování patří všem, kteří mi při vypracování diplomové práce poskytli cenné rady a informace. Především děkuji svým rodičům, sourozencům a přátelům za nekonečnou podporu v průběhu studia.

ANOTACE

Téma: Současné trendy v metodách hodnocení prodyšnosti textilií

Tato diplomová práce se zabývá problematikou hodnocení prodyšnosti textilií, jako jedné z nejdůležitějších užitných vlastností. Úvodní část je věnována prodyšnosti a jejímu vztahu ke struktuře tkaniny. Dále práce teoreticky popisuje a srovnává možnosti stanovení prodyšnosti. Rozvinuta je zde problematika stanovení propustnosti vzduchu jak na základě zjišťování hodnoty porozity tak i hodnocením prodyšnosti textilií pomocí klasických normovaných metod nebo aplikací alternativního způsobu měření prodyšnosti.

Závěr této práce je věnován principu a využití počítačové tomografie (CT), která oproti jiným metodám umožňuje získat užitečné 3D informace o struktuře a vlastnostech plošné textilie.

ANNOTATION

Theme: Current trends in the evaluation methods of fabric permeability

This thesis deals with the evaluation of methods pertaining to fabric permeability, as one of the most important utility features. The introductory part focuses on the issue of permeability and its relation to the fabric structure. Furthermore, the thesis in theory describes and compares the possibilities of permeability determination. The dilemma of air permeability determination is expanded upon on the basis of porosity value as well as the evaluation of fabric permeability using the classic standard methods or alternative methods of permeability assessment.

The concluding section pursues the principle and use of computer tomography (CT) that in comparison to other methods facilitates the reception of useful 3D information on the structure and characteristics of the fabric surface.

KLÍČOVÁ SLOVA

Struktura

Structure

Prodyšnost

Permeability

Porozita

Porosity

Počítačová tomografie

Computer tomography

OBSAH

1. ÚVOD	14
2. PRODYŠNOST TEXTILIE	16
2.1 Propustnost.....	16
2.2 Propustnost vzduchu	17
3. VZTAH MEZI STRUKTUROU TKANINY A JEJÍ PRODYŠNOSTÍ.....	19
3.1 Struktura a geometrie příze.....	19
3.1.1 Průměr příze.....	19
3.1.2 Zákrut příze.....	21
3.1.3 Jemnost příze	21
3.2 Struktura tkaniny.....	22
3.2.1 Vazba tkaniny	22
3.2.2 Dostava tkaniny	23
3.2.3 Plošné zakrytí tkaniny.....	24
3.2.4 Plošná hmotnost tkaniny.....	25
3.2.5 Tloušťka.....	25
3.3 Porozita	26
3.3.1 Typy pórů.....	27
4. MOŽNOSTI STANOVENÍ PRODYŠNOSTI TKANINY	29
5. STANOVENÍ POROZITY	31
5.1 Stanovení porozity na základě přímého měření.....	31
5.1.1 Optická metoda	31
5.1.2 Stanovení porozity z podílu měrných hmotností	33
5.1.3 Stanovení porozity z podílu objemů	34
5.2 Stanovení porozity nepřímo na základě modelů.....	37
5.2.1 Klasický 2-D model porozity tkaniny.....	40
5.2.2 Modifikovaná 2-D projekce pórů podle Gooijera.....	41
5.2.3 3-D model pórů v tkanině podle Lua	44
5.2.4 Zjednodušený 3-D model porozity tkaniny podle Havrdové.....	45
5.2.5 Predikce prodyšnosti pomocí neuronové sítě	48
6. METODY A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI	50
6.1 Měření prodyšnosti „klasickým“ způsobem	50

6.1.1	FF – 12/A METEFEM	52
6.1.2	Air Permeability Tester M021S	53
6.1.3	Přístroj pro zjišťování prodyšnosti textilií č.v. 2104 P1	53
6.1.4	Přístroj pro měření prodyšnosti vzduchu FX 3300	54
6.1.5	Chování tkaniny při prostupu vzduchu	55
6.1.6	Aspekty měření ovlivňující reprodukovatelnost získaných výsledků .	56
6.1.7	Porovnání „klasických“ měřících metod	57
6.2	Měření prodyšnosti „alternativním“ způsobem	59
6.2.1	Měření prodyšnosti v podmínkách proudícího vzduchu.....	59
6.2.2	Aerodynamický tunel.....	60
7.	POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE	63
7.1	Princip počítačové tomografie	63
7.2	Obrazová rekonstrukce	64
7.3	Rozlišení a barvy CT snímků.....	65
7.4	Možnosti využití Mikro- CT v textilní oblasti.....	65
7.5	Využití Mikro- CT k hodnocení prodyšnosti.....	67
7.6	Mikro- CT systémy	68
7.6.1	SkyScan 1174	68
7.6.2	SkyScan 1172	69
7.6.3	SkyScan 2011	70
7.6.4	Mikro- CT 35	71
8.	ZÁVĚR	72
9.	SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY	75

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Označení	Měřicí jednotka	Význam
A	[cm ²]	zkoušená plocha textilie
$A_1 \div A_4$	[m ²]	plocha průmětu póru typu 1 ÷ 4 jak je zavedl Gooijer
AP	[m/s], [mm/s]	prodyšnost
A_O	[m]	rozteč osnovních nití ve tkanině
A_U	[m]	rozteč útkových nití ve tkanině
C_D	[-]	průtokový odpor
CF	[-]	plošné zakrytí tkaniny podle Peirceho
d	[m]	průměr příze
d_E	[m]	ekvivalentní průměr příze
d_O	[m]	průměr osnovní nitě
d_p	[m]	průměr póru
d_s	[m]	substanční průměr příze
d_U	[m]	průměr útkové nitě
D_O	[1/m]	dostava osnovních nití
D_U	[1/m]	dostava útkových nití
f	[-]	stupeň provázání tkaniny
k	[-]	přepočítávací faktor, hodnota závisí na jednotkách, ve kterých měří přístroj
l	[km]	délka příze
m	[g]	hmotnost úseku příze (použito v kap. 3.1.3)
	[kg]	hmotnost odstříhu [kg] plošné textilie o ploše S [m ²] (použito v kap. 3.2.4)
	[kg]	hmotnost plošné textilie (použito v kap. 3.2.4)
$m_1 \div m_4$	[-]	počet pórů typu 1 ÷ 4 jak je zavedl Backer obsažených ve střídě vazby
n_{SO}	[-]	počet osnovních nití ve střídě vazby
n_{SU}	[-]	počet útkových nití ve střídě vazby
n_{POS}	[-]	počet vazných bodů, o které je vzájemně posunuto zakřížení sousedních útkových nití

Označení	Měřicí jednotka	Význam
p	[Pa]	tlak
P	[-]	porozita
P_G	[-]	porozita podle Gooijera
P_H	[-]	porozita podle Havrdové
P_p	[-]	porozita založená na podílu hustot
P_S	[-]	porozita textilie stanovená z plošného zakrytí
P_V	[-]	porozita tkaniny stanovená z podílu objemů
\bar{q}_V	[l/min], [ml/s]	průtok vzduchu, jednotka je závislá na typu přístroje
s	[%]	procento setkání příze v tkanině
s_O	[%]	procento setkání osnovní příze v tkanině
s_U	[%]	procento setkání útkové příze v tkanině
S	[m ²]	průřez příze (použito v kap. 3.1.1)
	[m ²]	plocha odstříhu plošné textilie (použito v kap. 3.2.4)
S_p	[m ²]	plocha pórů na řezu o ploše S_t
S_t	[m ²]	celková plocha řezu
S_T	[-]	souhrnný parametr podle Havrdové
t	[m]	tloušťka materiálu
T	[tex]	jemnost příze
T_O	[tex]	jemnost osnovních nití
T_U	[tex]	jemnost útkových nití
u	[-]	relativní posunutí provázání sousedních útkových nití
v	[m/s]	rychlost proudění tekutiny porézním materiálem
v_p	[m/s]	rychlost proudění tekutiny v póru
V	[m ³]	objem vláken (použito v kap. 3.1.3)
	[m ³]	objem plošné textilie (použito v kap. 3.2.4)
V_C	[m ³]	celkový objem pórové buňky
$V_1 \div V_4$	[m ³]	objemy pórových buněk typu 1 ÷ 4 nevyplněných hmotou příze
V_{1mO}	[m ³]	objem jedné osnovní nitě v úseku jednoho metru tkaniny
V_{1mU}	[m ³]	objem jedné útkové nitě v úseku jednoho metru tkaniny
V_p	[m ³]	objem póru v objemu textilního útvaru V_t

Označení	Měřicí jednotka	Význam
V_t	$[m^3]$	celkový objem vláknenného útvaru (použito v kap. 3.3)
	$[m^3]$	objem textilního útvaru (použito v kap. 5.1.1)
V_T	$[m^3]$	objem $1m^2$ tkaniny
V_{VB}	$[m^3]$	celkový objem pórové buňky
V_{vl}	$[m^3]$	objem vláken v útvaru
V_Y	$[m^3]$	celkový objem nití obsažených v $1m^2$ tkaniny
V_{ZO-}	$[m^3]$	objem nezakříženého spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce
V_{ZO+}	$[m^3]$	objem zakříženého spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce
$W_1 \div W_4$	$[m]$	omočený obvod pórů typu 1 ÷ 4
z_U	$[-]$	počet zkřížených útkových nití ve střídě vazby
Z	$[\%]$	plošné zakrytí tkaniny
Z_O	$[\%]$	zakrytí osnovní nití
Z_U	$[\%]$	zakrytí útkovou nití
Δp	$[Pa]$	tlakový spád
α	$[m^2]$	koeficient propustnosti (použito v kap. 5.2)
	$[-]$	poměr mezi efektivní a celkovou otevřenou plochou póru (použito v kap. 5.2)
π	$[-]$	Ludolfovo číslo
γ	$[N/m]$	povrchové napětí tekutiny
η	$[Pa \cdot s]$	dynamická viskozita vzduchu
θ	$[^\circ]$	smáčecí úhel
θ_o	$[^\circ]$	úhel provázání osnovní nitě
\Re	$[-]$	Radonova transformace
\Re^{-1}	$[-]$	inverzní forma Radonovy transformace
μ	$[-]$	zaplnění příze
μ_O	$[-]$	zaplnění osnovní příze
μ_U	$[-]$	zaplnění útkové příze
ρ	$[kg/m^3]$	objemová měrná hmotnost vláken

Označení	Měřicí jednotka	Význam
ρ_F	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost textilních vláken
ρ_{FO}	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost osnovní příze
ρ_{FU}	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost útkové příze
ρ_S	[kg/m ²]	plošná měrná hmotnost tkaniny
ρ_V	[kg/m ³]	objemová měrná hmotnost tkaniny

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
CAD	Computer Aided Design
CCD	Charge Coupled Device
CF	Cover Factor
CFD	Computer Fluid Dynamics
CT	Computer Tomography
μCT	Micro Computer Tomography
2D	dvojměrný
3D	trojměrný
FEM	Finite Element Method
FT	fakulta textilní
KHT	katedra hodnocení textilií
KNT	katedra netkaných textilií
KOD	katedra oděvnictví
KTM	katedra textilních materiálů
LBM	Lattice Boltzmann Methods
PIV	Particle Image Velocimetry

1. ÚVOD

Prodyšnost představuje jednu z nejdůležitějších vlastností oděvních materiálů významně ovlivňující fyziologický komfort nositele. Fyziologický komfort je definován jako stav lidského organismu, v němž jsou termofyziologické funkce v rovnováze, a který je subjektivně vnímán jako pohodlí.

V posledních letech neustále roste poptávka po oděvních výrobcích, které nejen že dobře vypadají, ale poskytují také příjemné pocity a pohodlí. Z těchto důvodů je vhodné co nejpřesněji definovat a předvídat užité vlastnosti oděvních textilií již při samotném navrhování oděvu. Hodnocení prodyšnosti je nedílnou součástí nejen hodnocení komfortu oděvu, ale také kvality a funkčnosti výrobku a to zejména u oděvů používaných pro sportovní účely, pracovních oděvů a v případě technických textilií. Proto je nezbytné se problematikou propustnosti vzduchu detailně zabývat.

Prodyšnost plošné textilie je v největší míře ovlivněna především její strukturou. Lze říci, že čím je struktura textilie kompaktnější, tím se snižuje její prodyšnost a zároveň roste její stabilita. Důležitým parametrem struktury textilie, který bývá považován za strukturální ekvivalent prodyšnosti, je porozita materiálu, neboť velikost pórů, jejich tvar, uspořádání a četnost lze považovat za rozhodující charakteristiky související s prodyšností textilních materiálů.

V současné době existuje celá řada metod zabývajících se hodnocením prodyšnosti, které jsou založeny na rozdílných principech. Cílem této práce je tyto metody popsat a srovnat možnosti jejich využití.

Dále je třeba mít na paměti, že hodnota prodyšnosti zjištěná laboratorními metodami se často příliš neshoduje se skutečnou prodyšností, jelikož reálné podmínky při nošení oděvu jsou výrazně složitější. Vzhledem k nárůstu poptávky po oděvech zabezpečujících maximální komfort nošení je třeba znát, jak se budou materiály chovat v konkrétních podmínkách. Výběr metody měření prodyšnosti tedy velmi ovlivňuje přesnost odhadu chování materiálu v reálných podmínkách. Výrobci proto hledají metody umožňující zkoumání a modelování vlastností textilií v podmínkách, které se těm reálným co nejvíce blíží.

Zároveň se jeví jako velmi vhodné věnovat pozornost možnosti zkoumání 3D struktur plošných textilií nedestruktivním, přesným a rychlým způsobem pomocí

počítačové tomografie. Tomografické systémy umožňují získat nové informace a pohledy, které mohou být použity při návrhu nových textilních materiálů a vyhodnocování jejich vlastností. I proto jsem jim věnovala významnou část své práce.

2. PRODYŠNOST TEXTILIE

2.1 Propustnost

Propustnost je obecně definována jako průnik média přes vrstvu textilie. K prostupu, transportu média dochází v případě, že se materiál nachází v prostředí s různou intenzitou na obou jeho stranách (teplota, tlak aj.). Médium přitom prostupuje směrem k nižší intenzitě. Dle druhu prostupujícího media se rozlišuje:

- propustnost vzduchu,
- propustnost vodních par,
- propustnost vody,
- propustnost tepla.

Tyto propustnosti jsou důležité jak pro oděvní textilie, kde soubor textilních vrstev tvořících oděv napomáhá termoregulaci organismu, tak pro textilie technické – filtrační textilie, textilie pro výrobu stanů atd. V reálných podmínkách se setkáváme s tím, že dochází k několika prostupům současně a textilie je tak vystavena působení několika médií najednou. Velmi často působí média současně z obou stran textilie, kvůli tomu může dojít ke změnám jejich vlastností vlivem namáhání vrstev materiálu a tím i k nestacionárnímu charakteru transportu. Jelikož se způsoby transportu vzájemně ovlivňují a kombinují, nelze zatím laboratorními metodami předpovídat chování reálné textilie v reálných podmínkách. Existují však snahy o zkoumání a modelování vlastností textilních materiálů, které reálným podmínkám odpovídají. [9]

Další kapitoly jsou věnovány problematice propustnosti vzduchu – prodyšnosti, jako jedné z nejdůležitějších fyziologických vlastností.

2.2 Propustnost vzduchu

Prostup vzduchu (prodyšnost) je jednou z nejdůležitějších užitných vlastností, která ovlivňuje fyziologický komfort textilií zásadním způsobem. U oděvních textilních materiálů je hodnocení prodyšnosti nedílnou součástí hodnocení komfortu oděvu a kvality výrobku. V případě technických textilií se jedná o vlastnost určující jejich funkčnost z hlediska účelu jejich použití (např. u textilií pro stany, padáky, airbagy, filtrační textilie).

Prodyšnost plošných textilií je dle normy ČSN EN ISO 9237 definována jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo danou plochou materiálu při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu. K prostupu vzduchu plošnou textilií přitom dochází v případě rozdílných barometrických tlaků po obou stranách textilie a rychlost prostupu vzduchu odpovídá rozdílu tlaků Δp .

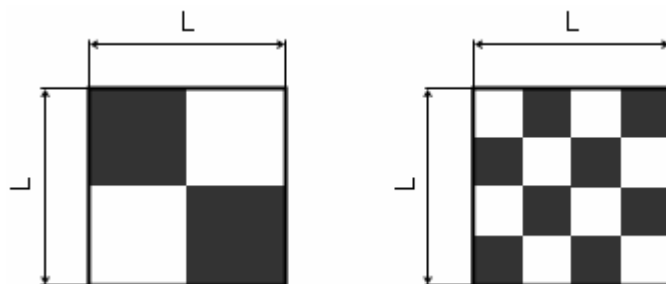
Prodyšnost plošné textilie velmi úzce souvisí s její strukturou (tj. s tloušťkou, tvarem a plošnou hmotností, zákrutem příze, typem vazby, dostavou, konečnou úpravou). Se zvyšující se tloušťkou textilie se zmenšuje počet průchozích pórů, čímž klesá i prodyšnost.

Faktorem ovlivňujícím prodyšnost je také vlhkost textilie. S růstem vlhkosti textilie dochází k bobtnání přírodních vláken a prodyšnost textilie se v důsledku zaplnění pórů snižuje.

Ke zvětšení prodyšnosti dochází při existenci vzduchové mezivrstvy, při zvýšení rychlosti proudění vzduchu a zvětšením rozdílu teplot vnějšího vzduchu a vzduchu pod oděvem, kde sílí proudění v textiliích i v prostoru mezi tělem a oděvem. Důsledkem zvýšení prodyšnosti je snížení tepelně izolačních vlastností oděvu a tím i zhoršení fyziologického komfortu.

Důležitým parametrem struktury textilie ovlivňujícím prodyšnost textilií je porozita materiálu. Porozita bývá často považována za strukturální ekvivalent nejen prodyšnosti, ale i dalších propustností, je však potřeba rozeznávat rozdíly, které jsou mezi těmito charakteristikami. U textilie, která má vysokou hodnotu pórovitosti, je pravděpodobné, že je propustná, naopak u textilie s nulovou pórovitostí lze předpokládat nulovou propustnost. Budou-li se porovnávat dvě textilie s porozitou mezi 0,1 a 0,9, je obtížné předpovědět jejich propustnost. Obě textilie mohou mít stejnou

hodnotu porozity, ačkoli umístění a velikost volného prostoru v textilií, které mají vliv na propustnost, jsou odlišné (obr. č. 1). Nesmíme proto opomenout skutečnost, že propustnost a porozita jsou charakteristiky sice podobné, ale ne úplně stejné. [9]



Obr. 1 Buňky se stejnou hodnotou porozity, propustnost může být rozdílná [6].

3. VZTAH MEZI STRUKTUROU TKANINY A JEJÍ PRODYŠNOSTÍ

Struktura textilie je sama o sobě značně složitá. Komplikované je také její chování a možné deformace způsobené silovými účinky proudícího vzduchu. Struktura textilie se vlivem silového účinku proudícího vzduchu mění, takže ve značné míře závisí na podmínkách proudění, kterému je vystavena. Významnou roli přitom sehrává způsob provázání osnovních a útkových nití resp. typ vazby. [10]

Struktura plošných textilií je dále ovlivňována také použitým vlákenným materiálem a použitými technologickými postupy v jednotlivých operacích celého výrobního procesu.

Tato kapitola je věnována struktuře a geometrickým vlastnostem přízí a tkanin.

3.1 Struktura a geometrie příze

Se strukturou a geometrickými vlastnostmi tkaniny souvisí struktura a geometrické vlastnosti přízí.

Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází k přetrhu jednotlivých vláken. [41]

Mezi nejdůležitější charakteristiky použitých nití lze z hlediska hodnocení plošných textilií zařadit jejich průměr a zaplnění, dále pak jejich jemnost, zákrut, tvar příčného řezu, chlupatost, použitou vstupní surovinu či použitou technologii výroby.

3.1.1 Průměr příze

Příze svým tvarem připomíná válec, proto se pro popis příze používá veličina s názvem „průměr příze“ označovaná symbolem d . Protože rozhraní mezi okolním prostředím a přízí není ostré, je tvořeno přechodovou oblastí chlupatosti příze, je nutné používat pojem „průměr příze“ jako myšlenou veličinu nebo teoreticky daný průměr.

Pro průřez S příze platí vztah:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

kde: S ... průřez příze [m^2],

d ... průměr příze [m].

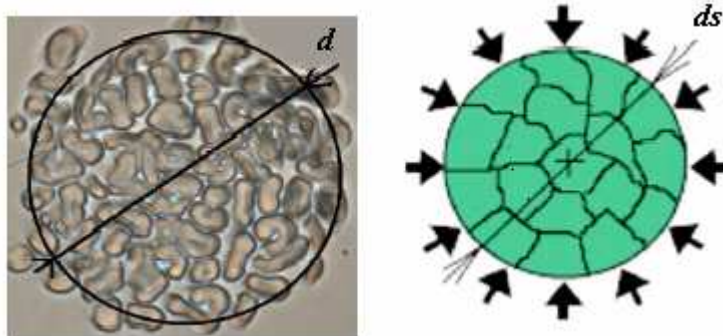
Kdyby se podařilo z příze odstranit všechny mezivláknenné prostory, stal by se z ní homogenní válec, jehož plocha průřezu by byla shodná se součtem ploch průřezů všech vláken. Takto definovaná plocha se nazývá substančním průřezem příze (Obr. č. 2). Takový válec má substanční průměr d_s a platí vztah [19]:

$$d_s = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}}, \quad (2)$$

kde: d_s ... substanční průměr příze [m],

T ... jemnost příze [tex],

ρ ... objemová měrná hmotnost vláken [kg/m^3].



Obr. 2 Průměr příze → substanční průměr příze [35].

Mezi vlákny jsou vzduchové mezery, proto je průměr reálné příze větší než průměr substanční, který předpokládá, že vlákna jsou v přízi uložena bez vzduchových mezer.

Veličina popisující množství vzduchu v přízi se nazývá zaplnění příze μ a vyjadřuje poměr objemu vláken v daném úseku příze jednotkové délky a celkového objemu tohoto úseku. Jedná se o bezrozměrnou veličinu nabývající hodnot z intervalu $(0;1)$. [19]

Zaplnění příze μ lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\mu = \frac{V}{V_c}, \quad (3)$$

kde: μ ... zaplnění příze [-],

V ... objem vláken [m^3],

V_c ... celkový objem [m^3]. Platí $V \leq V_c$

Ekvivalentní průměr příze je dán vztahem:

$$d_E = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho\mu}}, \quad (4)$$

kde: d_E ... ekvivalentní průměr příze [m],

ρ ... objemová měrná hmotnost vláken [kg/m^3].

3.1.2 Zákrut příze

Tato veličina vyjadřuje počet ovinů připadajících na jednotku délky zakroucené příze. Zákrut přízi především zpevňuje a na základě vzniklých třecích sil mezi jednotlivými vlákny jí dodává mechanické vlastnosti jako tažnost, pevnost a pružnost.[19]

Rozlišujeme dva druhy zákrutu a to zákrut trvalý a zákrut nepravý. U trvalého zákrutu je zakroucení vláken prováděno v jednom směru kolem osy vlákenného produktu a podle směru zakrucování urovnaného vlákenného svazku označujeme zákrut jako pravý (Z) a levý (S). Nepravý zákrut vzniká postupným zakrucováním v obou směrech. [12]

3.1.3 Jemnost příze

Jemnost (délková hmotnost) příze T vyjadřuje vztah mezi hmotností příze m a délkou příze l . Pokud vycházíme z idealizované představy o přízi, lze pro přízi o délce l , jemnosti T a průměru d definovat:

$$T = \frac{m}{l} = \frac{V\rho}{l} = \frac{Sl\rho}{l} = \rho S, \quad (5)$$

kde: T ... jemnost [tex],

m ... hmotnost úseku příze [g],

l ... délka příze [km],

V ... objem vláken [m^3].

ρ ... objemová měrná hmotnost vláken [kg/m^3],

S ... průřez příze [m^2].

3.2 Struktura tkaniny

Tkanina je plošná textilie vytvořená zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití, osnovy a útku, navzájem provázaných vazbou tkaniny. [4]

Každou tkaninu lze popsat souborem mnoha různých vlastností a charakteristik. Mezi základní charakteristiky definující konstrukci tkaniny se řadí její vazba, použitý materiál, dostava a jemnost použitých nití ve směru osnovy a ve směru útku. Tyto údaje určují tzv. plošnou geometrii tkaniny. Kromě plošné geometrie tkaniny je velmi důležitá prostorová geometrie tkaniny. Ta je ovlivněna typem a seřízením tkacího stroje. Jejím hlavním parametrem může být zvlnění osnovy a útku ve vazné buňce. Místo o geometrii se často hovoří o struktuře tkaniny. Základem studia plošné struktury tkaniny je vazná buňka tkaniny v půdorysném pohledu. [13]

3.2.1 Vazba tkaniny

Vazba tkaniny popisuje způsob vzájemného provázání osnovních a útkových nití. Jako vazný bod je označováno místo, kde dochází k překřížení osnovní nitě s útkem. Pokud je osnovní nit při křížení položena nad útkem, jedná se o *osnovní vazný bod*. Je-li na lící stranu situována útková nit, jedná se o *útkový vazný bod*. Nejmenší pravidelně se opakující úsek vazby se nazývá střída vazby. [4]

Vazba má částečně vliv na pevnost, pružnost, tuhost, splývavost i na omak tkaniny. Ovlivňuje nejen její vzhled, ale i tepelnou izolaci, prodyšnost, oděru schopnost a další vlastnosti tkanin. [22]

Podle způsobu provázání rozdělujeme základní vazby tkanin:

- plátnová,
- keprová,
- atlasová.

Míra provázání přízí ve tkanině je charakterizována stupněm provázání tkaniny f , jak jej uvádí Nosek [20]. Parametr je převrácenou hodnotou relativního počtu průchodů útkových nití z lící strany tkaniny na rubní stranu nebo zpět. Pro jakýkoli typ vazby může být vyjádřen jako:

$$f = \frac{1}{\frac{z_U}{n_{SO}n_{SU}}}, \quad (6)$$

kde: f ... stupeň provázání tkaniny [-],
 z_U ... počet zkřížených útkových nití ve střídě vazby [-],
 n_{SO} ... počet osnovních nití ve střídě vazby [-],
 n_{SU} ... počet útkových nití ve střídě vazby [-].

Pro plátňovou vazbu je $f=1$, pro každou jinou je $f > 1$.

Vazná buňka tkaniny

Menší jednotka používaná pro popis geometrie tkaniny je vazná buňka tkaniny. Vazná buňka (vazný bod) popisuje „okolí“ jednoho zakřížení osnovní a útkové příze.[10]

Rozlišujeme skutečnou rozteč osnovních nití a skutečnou rozteč útkových nití, pro které platí [11]:

$$A_O = \frac{1}{D_O}, \quad (7)$$

$$A_U = \frac{1}{D_U}, \quad (8)$$

kde: A_O, A_U ... rozteč osnovních a útkových nití [m],
 D_O ... dostava osnovních nití [1/m],
 D_U ... dostava útkových nití [1/m].

3.2.2 Dostava tkaniny

Velmi důležitou konstrukční vlastností tkaniny je její dostava. Jedná se o parametr vyjadřující počet osnovních D_O nebo útkových D_U nití na délkovou jednotku tkaniny (zpravidla 1cm, 10 cm nebo 1m). Dostavy spolu s průměry osnovních a útkových nití jsou důležité charakteristiky pro stanovení plošného zakrytí tkaniny a pro vymezení ploch kolmých průřezů mezinitných pórů. [10]

Dostava tkaniny je definována zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití:

D_O ... dostava osnovních nití [1/m],
 D_U ... dostava útkových nití [1/m].

3.2.3 Plošné zakrytí tkaniny

Parametr, na základě kterého je možné posuzovat některé užité vlastnosti tkanin (např. prodyšnost). Plošné zakrytí je poměr plochy zakryté nití k celkové ploše textilie nebo jejího vazného prvku a vychází z půdorysné plochy nití ve vazné buňce tkaniny. Plocha vazné buňky je z části kryta osnovní a z části útkovou nití. Celkové plošné zakrytí tkaniny Z lze vyjádřit na základě dílčích plošných zakrytí Z_O [%], Z_U [%] [11]:

$$Z = \frac{d_o \cdot A_U + d_U \cdot A_o - d_o d_U}{A_U \cdot A_o}, \quad (9)$$

$$Z_O = \frac{d_o \cdot A_U}{A_U \cdot A_o} = \frac{d_o}{A_o} = d_o \cdot D_o, \quad (10)$$

$$Z_U = \frac{d_U \cdot A_o}{A_U \cdot A_o} = \frac{d_U}{A_U} = d_U \cdot D_U, \quad (11)$$

kde: Z ... plošné zakrytí tkaniny [%],
 Z_O ... zakrytí osnovní nití [%],
 Z_U ... zakrytí útkovou nití [%],
 A_o ... rozteč osnovních nití ve tkanině [m],
 A_U ... rozteč útkových nití ve tkanině [m],
 d_o ... průměr osnovní nitě [m],
 d_U ... průměr útkové nitě [m].

Plošné zakrytí lze experimentálně vyhodnotit také pomocí systému obrazové analýzy, jak prezentuje Militký a kol. v práci [17]. Vyhodnocován je přímo procentuální podíl „zakryté plochy“ nebo naopak plochy textilie „otevřené“ pro průchod světelných paprsků.

Výše uvedené konstrukční parametry tkaniny (vazba, dostava, plošné zakrytí) spolu s použitou technologií výroby určují další její vlastnosti důležité z hlediska hodnocení porozity textilních materiálů. Mezi tyto vlastnosti patří plošná měrná hmotnost tkaniny, objemová hmotnost tkaniny a tloušťka tkaniny.

3.2.4 Plošná hmotnost tkaniny

Plošná měrná hmotnost tkaniny ρ_s vyjadřuje její hmotnost na jednotku plochy [12]:

$$\rho_s = \frac{m}{S}, \quad (12)$$

kde: ρ_s ... plošná měrná hmotnost [kg/m^2],
 m ... hmotnost odstříhu [kg] plošné textilie o ploše $S[\text{m}^2]$,
 S ... plocha odstříhu plošné textilie [m^2].

Objemová měrná hmotnost tkaniny ρ_v vyjadřuje hmotnost její objemové jednotky [12]:

$$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{St} = \frac{\rho_s}{t}, \quad (13)$$

kde: ρ_v ... objemová měrná hmotnost tkaniny [kg/m^3],
 ρ_s ... plošná měrná hmotnost tkaniny [kg/m^2],
 m ... hmotnost plošné textilie [kg],
 V ... objem plošné textilie [m^3],
 t ... tloušťka materiálu [m].

3.2.5 Tloušťka

Tloušťka plošné textilie ovlivňuje celou řadu vlastností textilních výrobků např. prodyšnost, tepelně izolační vlastnosti atd. Je definována jako kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie. Tloušťka tkaniny je závislá nejen na průměru osnovních a útkových nití, ale také na použité vazbě nebo dostavě tkaniny. Důležitým parametrem při hodnocení tloušťky tkaniny je přítlak mezi čelistmi. Vhodné podmínky měření pro různé typy materiálu stanovuje norma ČSN EN ISO 5084. [10]

Při zvětšení tloušťky textilie, se současným zachováním objemové hmotnosti, se snižuje počet průchozích pórů, čímž klesá prodyšnost textilie. K poklesu prodyšnosti dochází rovněž při zvětšení objemové hmotnosti textilie - stlačení. Chování textilií při stlačování popisuje stlačitelnost. V případě hodnocení prodyšnosti má stlačení vliv především na pleteniny.

3.3 Porozita

Jedná se o vlastnost velmi úzce související s prodyšností textilie. Obě tyto veličiny jsou značně ovlivněny fyzikálně mechanickými vlastnostmi textilií, režimy jejich zpracování ve všech etapách oděvního procesu a v neposlední řadě také deformačními vlastnostmi textilií. [5]

Ve většině prací zabývajících se hledáním vztahu mezi prodyšností tkaniny a její strukturou je porozita chápána jako základní reprezentant struktury. Je však důležité mít na paměti skutečnost, že změna struktury tkaniny souvisí i s jejími dalšími vlastnostmi jako je typ vazby, pružnost plošné textilie, pružnost použitých nití apod. a porozita je pouze jednou z nich.

Porozita má rozhodující vliv na použití textilií pro vybrané speciální aplikace (padáky, plachy, filtry) a ovlivňuje také použití textilií pro oděvní účely, kde může být nízká porozita příčinou nízkého komfortu. Z hlediska propustnosti textilie pro vzduch patří mezi rozhodující charakteristiky plošné textilie velikost pórů v textilii, jejich tvar, uspořádání a četnost.

Porozita P je bezrozměrné číslo vypovídající o tom, kolik vzduchu je v textilii obsaženo. Obecně lze za póry v textilii považovat všechny prostory této textilie, které jsou vyplněny vzduchem. Vzhledem ke skutečnosti, že textilie v podstatě představuje směs vláken a vzduchu, lze porozitu textilního útvaru vyjádřit jako podíl objemu vláknenného útvaru vyplněného vzduchem pomocí vztahu [19]:

$$P = \frac{V_t - V_{vl}}{V_t} = 1 - \frac{V_{vl}}{V_t} = 1 - \mu, \quad (14)$$

kde: P ... porozita [-],

V_t ... celkový objem vláknenného útvaru [m^3],

V_{vl} ... objem vláken v útvaru [m^3],

μ ... zaplnění [-].

Porozita se vyjadřuje buď jako poměrné číslo z intervalu (0;1) nebo v procentech v intervalu (0;100). Vypovídá pouze o tom, kolik vzduchu je v textilii obsaženo, ale nic neříká o velikosti a rozložení pórů v textilii, jejich typu, tvaru či vzájemném uspořádání, které mají rozhodující vliv na hodnotu propustnosti. [10]

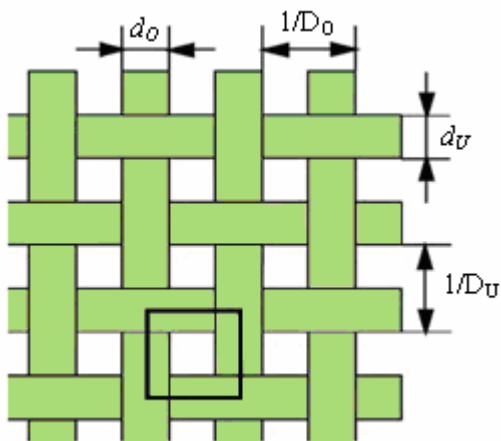
Z hlediska transportních procesů lze póry v plošné textilií rozdělit do tří základních skupin:

- *Submikroskopické póry* - póry uvnitř vláken
- *Mezivláknenné póry* – póry uvnitř nitě vytvořené mezi vlákny
- *Mezinitné póry* – póry vytvořené mezi osnovními a útkovými nitěmi

Póry uvnitř textilních vláken jsou vzhledem ke své velikosti jednoznačně zanedbatelné. Z hlediska prodyšnosti oděvního výrobku jsou důležité póry větších rozměrů – mezivláknenné a mezinitné. Zatímco vzduch uzavřený v mikroprostorech mezi vlákny přispívá k tepelně izolačním vlastnostem a transportu tekutiny ve formě kapalného potu nebo vodní páry, mezinitné póry mají vliv především na prodyšnost. [9]

3.3.1 Typy pórů

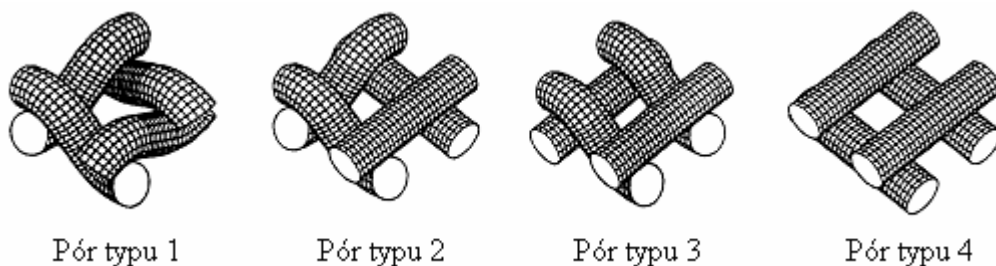
Menší strukturní jednotkou než je střída vazby, která se používá pro popis geometrie tkaniny, je tzv. vazná buňka tkaniny (viz.3.2.1). Vazná buňka zahrnuje „okolí“ jednoho vazného bodu. Pokud je vazná buňka posunuta tak, že vytváří okolí jednoho mezinitného póru ve tkanině, lze hovořit o „pórové buňce“ (na obr. č. 3 ohraničená černou barvou). V kolmém průmětu tkaniny do roviny se všechny pórové buňky jeví jako stejné, ale je-li tkanina chápána jako 3-D objekt, je zřejmá jejich tvarová odlišnost v závislosti na provázání nití ve tkanině. [10]



Obr. 3 Pórová buňka v idealizované struktuře tkanin [10].

Definici čtyř základních typů pórových buněk (obr. č. 4) provedl Backer [1]. Jakákoli vazba může být tvořena nejrůznějšími kombinacemi těchto čtyř základních

pórových buněk. Vazby skládající se z určitých typů pórů významně ovlivňují prodyšnost tkaniny.



Obr. 4 Čtyři typy jednotkových pórových buněk ve tkanině podle Backera [1].

Pór typu 1:

- obsahuje dva zakřížené úseky osnovní nitě a dva zakřížené úseky útkové nitě,
- nejprovázanější, největší setkání,
- nejmenší plocha póru (dle Gooijera) → nejmenší prodyšnost.

Pór typu 2:

- obsahuje po jednom zakříženém a jednom nezakříženém úseku osnovní a útkové nitě,
- tento typ póru se vyskytuje u keprových a atlasových vazeb.

Pór typu 3:

- je vhodné rozlišovat pór typu 3A a 3B dle jeho orientace v tkanině,
- tento typ póru se vyskytuje u rypsových a panamových vazeb.

Pór typu 4:

- obsahuje dva nezakřížené úseky osnovní nitě a dva nezakřížené úseky útkové nitě,
- nejmenší povázání, nejmenší setkání,
- největší plocha póru (dle Gooijera) → největší prodyšnost.

4. MOŽNOSTI STANOVENÍ PRODYŠNOSTI TKANINY

Stanovení prodyšnosti lze rozdělit do dvou skupin. První skupinu představují metody založené na tvrzení, že porozitu je možné brát jako strukturální ekvivalent propustností, dá se tak hovořit o zjišťování porozity. Hodnotu porozity lze stanovit [9]:

- a) přímo* - na základě experimentálního měření některé z vlastností, které mají přímou souvislost s porozitou daného materiálu. Mezi takové metody patří optická, hustoměrná a objemová metoda.
- b) nepřímo* - na základě teoretických modelů založených na způsobu proudění tekutiny přes textilií nebo na geometrii póru, který představuje základní strukturní jednotku textilie.

Druhou skupinu představují metody hodnocení prodyšnosti, které lze rozdělit na:

- a) přímé* - metody experimentálního zjišťování prodyšnosti na základě měření pomocí zkušebních přístrojů.
- b) nepřímé* - na základě modelování proudění tekutiny přes textilií.

Zatímco se propustnost vzduchu při experimentálním zjišťování prodyšnosti oděvních textilií standardně vyhodnocuje za podmínek ustáleného proudění, kdy vzduch proudí vždy ve směru kolmém k textilii, reálné podmínky jsou výrazně složitější. V reálných podmínkách se směr proudění průběžně mění v závislosti na tlakovém rozdílu mezi dvěma stranami textilie, který se neustále proměňuje vlivem síly větru, pohybu člověka atd. Hodnota prodyšnosti zjištěná na standardních měřících přístrojích je tedy jen stěží totožná s prodyšností v reálných podmínkách. Měření prodyšnosti plošných textilií v laboratorních podmínkách je nutné chápat pouze jako prostředek umožňující vzájemné porovnání schopnosti textilních materiálů propouštět vzduch.

Dále je třeba podotknout, že při vyhodnocování výsledků a hledání vzájemného vztahu mezi strukturou a prodyšností plošné textilie dochází k základnímu rozporu. Plošná textilie změřená na přístrojích je vystavena proudícímu vzduchu a pevnému sevření v upínací čelisti, čímž dochází ke změně struktury, zatímco stanovení porozity se provádí ve volném stavu bez účinku proudícího vzduchu. Nalezená souvislost mezi

prodyšností plošné textilie a její strukturou proto není „přímá“. Umožňuje však alespoň orientačně odhadnout hodnotu prodyšnosti jako charakteristiky umožňující porovnání s ostatními textiliemi. [10]

5. STANOVENÍ POROZITY

Jak bylo uvedeno výše, lze hodnotu porozity stanovit na základě přímého experimentálního měření nebo nepřímo na základě teoretických modelů.

5.1 Stanovení porozity na základě přímého měření

Přímé metody popisu struktury poskytují přesné výsledky a závěry, jsou však náročnější na technologii a vybavení.

5.1.1 Optická metoda

Přímou metodu nejlépe reprezentuje obrazová analýza a to nejen přesností a správností výsledků, ale také relativně snadnou obsluhou. Metoda stanovuje plochy pórů na principu světelné propustnosti pomocí systému obrazové analýzy. Metoda využívá spojení světelné mikroskopie s počítačovou technikou, což umožňuje kvalitní pohled na strukturu. Výhodou tohoto způsobu hodnocení porozity je, že kromě základního údaje zahrnujícího plochu póru lze zjišťovat i jejich distribuci, velikost a typ. Použití této metody zjišťování porozity je omezeno zejména dostavou, tloušťkou tkaniny či její povrchovou úpravou.

Optickou metodu je možné modifikovat, díky tomu ji lze použít nejen pro zjišťování pórovitosti plošných textilií, ale i pro textilie objemové. Předpokladem je platnost Delesseova a Rosiwalaova vztahu [9]:

$$\frac{S_p}{S_t} = \frac{V_p}{V_t}, \quad (15)$$

kde: S_p ... plocha pórů na řezu o ploše S_t [m²],
 S_t ... celková plocha řezu [m²],
 V_p ... objem póru v objemu textilního útvaru V_t [m³],
 V_t ... objem textilního útvaru [m³].

Měření velikosti pórů pomocí obrazové analýzy

Obrazová analýza byla původně používána ve vojenství, metalografii (analýza velikosti zrn), v biologii (buňky) či v kriminologii. Odtud se metoda rozšířila do dalších

oborů a v současné době je typickým interdisciplinárním oborem. Jejím cílem je získání reprodukovatelných a reprezentativních dat typických pro studované struktury. Obrazová informace je dána degradací 3D struktur na 2D obrazy.

Metoda rozpoznává jednotlivé objekty podle stupnice šedi v intervalu (0, 255). Hodnota 0 odpovídá černé a hodnota 255 bílé. Velmi dobře jsou rozlišitelné složky: složka s nejnižším stupněm šedi (vlákna, interval(0, x)) a složka s největším stupněm šedi (póry a trhliny, interval (y, 255)).

Princip obrazové analýzy spočívá ve snímání obrazu a jeho převedení do číslíkové formy. V užším smyslu jsou pro ni typické: úpravy (transformace) obrazu, identifikace objektů (segmentace) a kvantifikace do omezeného množství dat (měření). Samotné měření je náročné na rozlišování jednotlivých složek zkoumaných objektů, právě proto nelze nahradit rozlišovací schopnost lidského oka jiným způsobem. Měření je také náročné na soustředěnost a časovou náročnost.

Systém LUCIA

Obrazová analýza systémem Lucia (Obr. č. 5) umožňuje identifikaci objektů a hodnocení jejich geometrických vlastností (rozměry objektů, morfologické znaky, orientace objektů). Systém je využíván pro schopnost popisu vlastností 3D struktury z 2D obrazu. Podstata zkoušky spočívá ve zpracování a analýze barevných nebo černobílých obrazů. [36]



Obr. 5 Systém LUCIA pro obrazovou analýzu [34].

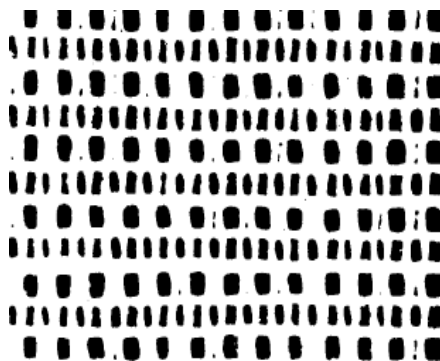
Zařízení se skládá z kamery CCD COHU, která je součástí mikroskopu a přenáší snímání obraz přímo ze sledovaného vzorku tkaniny na obrazovku počítače. Systém Lucia pracuje po nainstalování operačního systému Microsoft Windows 3x a program používá 752x548 pixelů na zobrazení obrazu na display. Lucia rozeznává dva typy

obrazu a to binární a barevný. Šedý obraz je speciálním odvozeným případem obrazu barevného.

Postup měření lze stručně popsat následujícími body:

- a) snímání,
- b) transformace,
- c) segmentace,
- d) vlastní měření,
- e) vyhodnocení dat,
- f) interpretace výsledků.

Systém Lucia lze využít nejen pro hodnocení pórovitosti textilie, ale též pro hodnocení mačkavosti, splývavosti, vrásnění švů nebo poškození pletenin.



Obr. 6 Hodnocení zakrytí tkaniny [36].

5.1.2 Stanovení porozity z podílu měrných hmotností

Metoda vhodná v případě, kdy je známa objemová hmotnost pórovité látky. Charakteristiku vyplnění plošné textilie vzduchem Pp lze v tomto případě spočítat ze vztahu [3]:

$$Pp = \frac{\rho_F - \rho_V}{\rho_F} = 1 - \frac{\rho_V}{\rho_F}, \quad (16)$$

kde: Pp ... porozita založená na podílu hustot [-],

ρ_F ... objemová měrná hmotnost textilních vláken [kg/m^3],

ρ_V ... objemová měrná hmotnost tkaniny [kg/m^3].

Dosazením rovnice (13) do vztahu (16) lze porozitu plošné textilie vyjádřit ve tvaru:

$$Pp = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_F t}, \quad (17)$$

kde: ρ_s ... plošná měrná hmotnost tkaniny [kg/m²],

ρ_F ... objemová měrná hmotnost textilních vláken [kg/m³],

t ... tloušťka materiálu [m].

Výhodou tohoto způsobu vyjádření porozity je, že k výpočtu stačí pouze znalost základních charakteristik plošné textilie - její plošné hmotnosti, tloušťky a materiálového složení. Nevýhodou je zjednodušující předpoklad, že textilie je chápána jako plochá destička s rovinným horním a spodním povrchem. Reliéf povrchu textilie však rovinný není a za póry v textilií jsou tak považovány i prostory vyplněné vzduchem. [10]

5.1.3 Stanovení porozity z podílu objemů

Stanovení porozity je založené na stanovení objemu pórů ve známém objemu pórovitého materiálu přímou metodou. Metody hodnotí absorbovaný objem jako funkci tlaku a jsou založeny na Washbornově rovnici (18), která udává tlak, kterým jsou plněny prázdné póry tekutinou, nebo naopak tlak, který je potřeba k vyprázdnění zaplněných pórů [9]:

$$p = - \frac{4 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{d_p}, \quad (18)$$

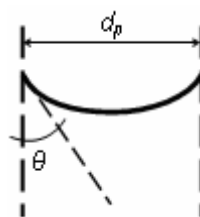
kde: p ... tlak [Pa],

γ ... povrchové napětí tekutiny [N/m],

θ ... smáčecí úhel [°],

d_p ... průměr póru [m].

Pro stanovení pórovitosti textilií bylo jako penetrantu v řadě prací (např. [18, 31, 33]) použito rtuti, která je vhodná v případě textilie vyrobené z hydrofilních vláken. V důsledku použitého tlaku však dochází při jejím vtlačování k deformacím textilního materiálu, což má za následek změnu prodyšnosti, proto byla rtuť v některých případech zaměněna za vodu, popřípadě jinou tekutinu s nižším povrchovým napětím [8].



Obr. 7 Geometrie pórů pro odvození vztahů (18) [9].

Pórovitost zjištěná na základě objemových metod je menší než skutečná pórovitost. Příčinou tohoto jevu je pravděpodobně přítomnost uzavřených pórů a pórů se zúženým hrdlem, do nichž tekutina vniká pouze obtížně. Takto stanovená pórovitost bývá označována jako pórovitost efektivní. [14]

Pro stanovení porozity tkaniny na základě objemových metod lze podíl objemu vzduchu P_V obsaženého v textilií vyjádřit dle vztahu:

$$P_V = 1 - \frac{V_Y}{V_T}, \quad (19)$$

kde: P_V ... porozita tkaniny stanovená z podílu objemů [-],

V_Y ... celkový objem nití obsažených v 1m^2 tkaniny [m^3],

V_T ... objem 1m^2 tkaniny [m^3].

Celkový objem nití V_Y zahrnuje objem osnovních nití V_O a objem útkových nití V_U vypočítaný dle vztahu [10]:

$$V_Y = V_O + V_U = D_O V_{1mO} + D_U V_{1mU}, \quad (20)$$

kde: D_O .. dostava osnovních nití [1/m],

D_U ... dostava útkových nití [1/m],

V_{1mO} ... objem jedné osnovní nitě v úseku jednoho metru tkaniny [m^3],

V_{1mU} ... objem jedné útkové niti v úseku jednoho metru tkaniny [m^3].

Za předpokladu kruhového průřezu příze o průměru d lze její objem vyjádřit jako objem válce[10]:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{\pi d}{4} \frac{4T}{\pi \rho} = \frac{T}{\rho_F \mu} \left(1 + \frac{s}{100} \right), \quad (21)$$

kde: T ... jemnost příze [tex],

ρ_F ... objemová měrná hmotnost textilních vláken [kg/m^3],

μ ... zaplnění příze [-],

s ... procento setkání příze v tkanině [%].

Celkový objem nití v tkanině se stanoví dle vztahu [10]:

$$V_Y = D_O \frac{T_O}{\rho_{FO} \mu_O} \left(1 + \frac{s_O}{100} \right) + D_U \frac{T_U}{\rho_{FU} \mu_U} \left(1 + \frac{s_U}{100} \right), \quad (22)$$

kde: T_O ... jemnost osnovních nití [tex],

T_U ... jemnost útkových nití [tex],

s_O ... procento setkání osnovní příze v tkanině [%],

s_U ... procento setkání útkové příze v tkanině [%],

ρ_{FO} ... objemová měrná hmotnost osnovní příze [kg/m³],

ρ_{FU} ... objemová měrná hmotnost útkové příze [kg/m³],

μ_O ... zaplnění osnovní příze [-],

μ_U ... zaplnění útkové příze [-].

Dosazením vztahu (22) do vztahu (19) lze vypočítat porozitu P_V . Objem tkaniny V_Y i v tomto případě zahrnuje objem vzduchu v těsné blízkosti reliéfu jejího povrchu. Parametry s_O , s_U , μ_O a μ_U nejsou zpravidla známy a jejich stanovení může vnést do výsledků nepřesnosti.

Přístroje pro charakteristiku pórovitosti

Návrhem a výrobou plně automatizovaných testovacích přístrojů pro charakteristiku pórovitosti pórovitých materiálů v různých průmyslových odvětvích (biotechnologie, filtrační média, geotextilie, textilní zboží aj.) se zabývá společnost PMI (Porous Materials). Jejich zařízení umožňují sledování pórovitosti, testování velikosti pórů, objemu pórů, propustnosti, hustoty, plochy povrchu a adsorpce. [25]

Přístroj od firmy PMI (Typ CFP - 1100 – AEX) používá v České republice například společnost Pegas Nonwovens k měření porozity a k zjišťování střední velikosti pórů s určením minimálního a maximálního póru mokrou i suchou cestou.

Porometr

Porometr je zařízení schopné měřit průměr póru, distribuci pórů a prodyšnost v pórovitém materiálu. Póry ve vzorku jsou spontánně naplněny smáčecí kapalinou. Tlak plynu na jedné straně vzorku je pomalu zvyšován, čímž dochází k odstranění kapaliny z pórů a plyn může póry volně protéct. Naměřené rozdíly tlaků a rychlosti toku plynu skrz vzorek za mokra a za suchu jsou dále využívány pro výpočet

charakteristických rysů struktury pórů. Testy jsou prováděny bez jakéhokoli řezu vzorku a mohou být nastaveny i efekty stlačení, teploty či chemického prostředí na strukturu pórů. [25]

Porosimetr

Porosimetry jsou přístroje, které jsou schopné měření objemu póru a distribuce objemu póru. Tato zařízení jsou založena na principu vetření kapaliny do póru nebo naopak vytlačování kapaliny z póru. U řady pórovitých materiálů nemůže kapalina spontánně téct do póru, proto může být užíván pro vtlačení kapaliny tlak. Na tomto principu jsou založeny rtuťové porosimetry operující v širokém okruhu tlaků. Tlak potřebný k vytlačení kapaliny a objem vytlačené kapaliny podává informace o objemu póru a distribuci póru.

Nevýhodnou rtuťových porosimetrů je skutečnost, že vzorek může být použit pouze jednou, zatímco porometry umožňují použít vzorek opakovaně. [25]

5.2 Stanovení porozity nepřímo na základě modelů

Nepřímé metody stanovení porozity lze rozdělit na modely popisující proudění tekutin a na geometrické modely pórovitosti.

Modely popisující proudění tekutin

Modely, charakterizující porozitu textilních materiálů dle způsobu popisu proudění tekutiny, lze obecně rozdělit do tří základních skupin:

Pórové modely

Modely popisují vláknenný materiál jako tuhé těleso obsahující póry. Pro jejich matematické vyjádření lze použít Darcyho zákon (23), který popisuje rychlost proudění tekutiny přes pórovitý materiál v oboru malých hodnot Reynoldsova čísla, kdy je proudění tekutiny ustálené a laminární [9]:

$$v = -\alpha \cdot \frac{\Delta p}{\eta \cdot t}, \quad (23)$$

kde: v ... rychlost proudění tekutiny porézním materiálem [m/s],

α ... koeficient propustnosti [m²],

Δp ... tlakový spád [Pa],

η ... dynamická viskozita vzduchu [Pa·s],

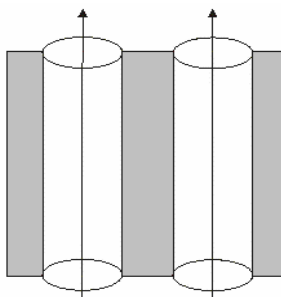
t ... tloušťka materiálu [m].

Pórové modely vychází z představy, že plošnou textilií lze přirovnat k ploché desce určité tloušťky se systémem válcových pórů kolmých na plochu desky. Průměr pórů lze získat na základě výpočtu ze základních charakteristik tkaniny (dostava osnovy, útku, průměr osnovy, útku) nebo vhodnou experimentální metodou (např. obrazová analýza). V případě laminárního proudění přes válcové póry platí pro výpočet rychlosti proudění tekutiny v póru Hagen- Poiseuilleův vztah [21]:

$$v_p = \frac{\Delta p d_p^2}{32 \eta t}, \quad (24)$$

kde: v_p ... rychlost proudění tekutiny v póru [m/s],

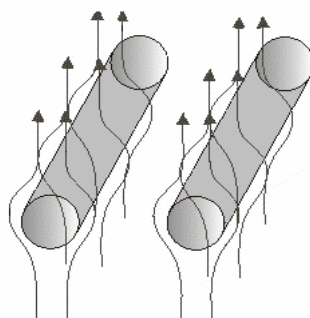
d_p ... průměr póru [m].



Obr. 8 Schéma pórového modelu tkaniny [10].

Překážkové (odporové) modely

Modely popisují odpor při proudění tekutiny přes textilní materiály představující systém válců. Modely byly aplikovány pouze na popis jednoduchých geometrií (soustava paralelních válců), kde byly výsledky uspokojující. Použitá geometrie byla v takových případech značně zjednodušena oproti geometrii skutečné textilie, která je příliš komplikovaná pro odvození náležitých vztahů textilních materiálů. [9]



Obr. 9 Schéma překážkového modelu tkaniny [10].

Modely vstupního otvoru

Otvorové modely jsou spolu s pórovými modely nejpoužívanější pro popis proudění tekutiny přes textilní materiály, přirovnávají textilií k ploché desce s otvory a jsou používány zejména pro tkaniny. Jednoduchý otvorový model je znázorněn na obr.č. 10.

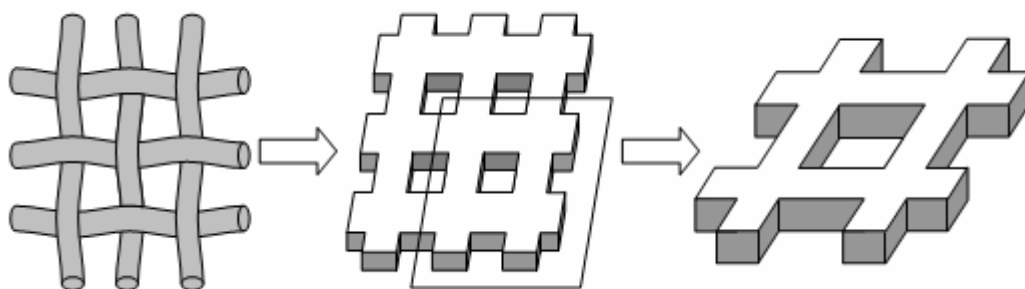
Modely uvažují textilní materiál jako systém zužujících se a následně rozšiřujících se průtokových kanálů, které jsou příčinou vzniku průtokového odporu. Průtokový odpor je odvozen jako poměr mezi plochou nejužšího příčného řezu póru a celkovou plochou póru [7]:

$$C_D = \sqrt{\frac{\rho \cdot v^2 (1 - \alpha^2)}{2 \Delta p \alpha^2}}, \quad (25)$$

kde: C_D ... průtokový odpor [-],

ρ ... objemová měrná hmotnost textilního útvaru [kg/m^3],

α ... poměr mezi efektivní a celkovou otevřenou plochou póru [-].



Obr. 10 Schématické znázornění transformace tkaniny na její model pro výpočet prodyšnosti [9].

Podrobnosti o popisu jednotlivých typů modelů stejně jako jejich základní charakteristiky je možno nalézt v práci Gooijera [8].

Geometrické modely pórovitosti

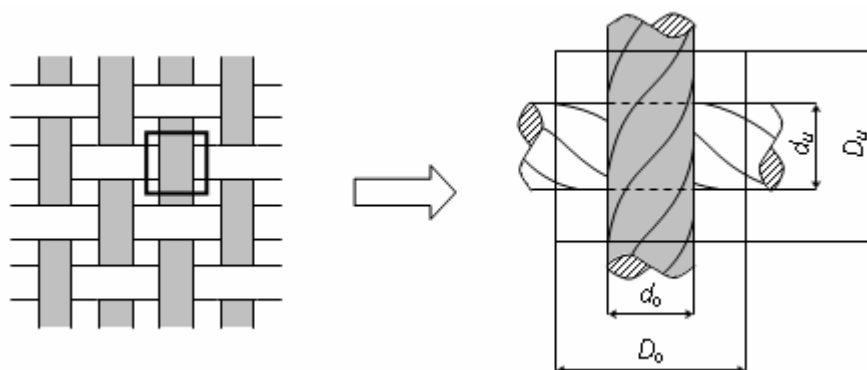
Další možností stanovení porozity na základě modelů jsou tzv. geometrické modely pórovitosti. Jako základní konstrukční parametry, které nejvíce ovlivňují porozitu tkaniny, jsou uvažovány: dostava osnovních a útkových nití, průměr osnovních a útkových nití. Mezi další charakteristiky patří konstrukce a počet zákrutů osnovních, útkových nití a typ vazby tkaniny.

Modelování geometrie pórů v textilií není jednoduchou záležitostí, jelikož velikost pórů není při proudění vzduchu stejná, ale silovými účinky proudícího vzduchu se mění. Podstatné jsou při těchto změnách především podmínky proudění (rychlost vzduchu, směr proudění apod.). [10]

Geometrické modely pórovitosti jsou uvedeny v následujících kapitolách (kap. 5.2.1 - 5.2.4).

5.2.1 Klasický 2-D model porozity tkaniny

Jedná se o stanovení porozity z plošného zakrytí textilie. Výpočet plošného zakrytí vychází ze znalosti dostav a průměru nití. Definoval jej Pierce [23]:



Obr. 11 Zakrytí vazného prvku v tkanině [9].

$$CF = D_o d_o + D_u d_u - d_o d_u D_o D_u, \quad (26)$$

kde: CF ... plošné zakrytí tkaniny dle Peirceho [-],

D_o ... dostava osnovních nití [1/m],

D_u ... dostava útkových nití [1/m],

d_o ... průměr osnovní nitě [m],

d_u ... průměr útkové nitě [m].

Stanovení průměru osnovních a útkových nití d_o a d_u je možné na základě znalosti jejich materiálového složení, jemnosti, zaplnění, jak bylo uvedeno ve vztahu (4):

$$d_o = \sqrt{\frac{4T_o}{\pi\rho_{FO}\mu_o}}, \text{ resp. } d_u = \sqrt{\frac{4T_u}{\pi\rho_{FU}\mu_u}} \quad (27)$$

Porozita P_S je v tomto případě odvozena z prosté kolmé projekce příze do roviny tkaniny a je definována jako:

$$P_S = 1 - CF, \quad (28)$$

kde: P_S ... porozita textilie stanovená z plošného zakrytí [-].

Klasický 2-D model porozity vychází z kolmého průmětu do roviny, čímž zcela zanedbává 3-D strukturu a tvarové odlišnosti pórů v tkanině. V kolmé projekci pórů se všechny typy provázání nití jeví jako stejné. Je třeba podotknout, že průměry použitých nití a dostavy nití po osnově a po útku jsou vlastnosti, které mají zřejmě nejvýraznější vliv na prodyšnost tkaniny. U volněji tkaných tkanin jsou mezinitné póry dostatečně velké a předpokládá se, že většina vzduchu proudí kolmo k povrchu tkaniny cestou nejmenšího odporu. Nevýhodou klasické 2-D projekce je, že v případě hustě dostavených tkanin se dle uvedeného modelu může plošná porozita rovnat nule, což se nemusí shodovat se skutečností. Z toho vyplývá, že tento model není vhodný pro hustě dostavené tkaniny, kde je prostor pro kolmý proud zmenšený na minimum a převažuje proudění vzduchu přes tkaninu ve směrech různě nakloněných. [10]

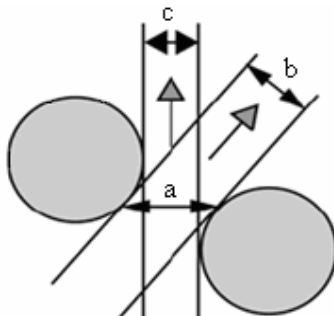
5.2.2 Modifikovaná 2-D projekce pórů podle Gooijera

Vzduch nemusí procházet jen kolmo k textilií, jak předpokládá klasická 2-D interpretace pórů, ale může protékat mezi nitěmi i v šikmém směru. Nítě v tkanině nejsou zpravidla uloženy všechny v jedné rovině, takže mezi nimi vznikají různě „nakloněné“ póry, ve kterých dochází k obtékání nití proudem vzduchu.

Touto úvahou se ve své práci podrobně zabýval Gooijer [8] a představil nový model, který bere v úvahu jak tvarovou odlišnost jednotlivých typů pórů, tak částečně i typ použité vazby.

Cílem Gooijera bylo navrhnout model, který by zahrnoval 3-D strukturu jednotkového póru do projekce ve 2-D. Vycházel přitom z definice čtyř základních typů pórových buněk, jak je navrhl Backer [1]. Backerův model sice zahrnoval 3-D geometrii póru, ale pro stanovení nejužší příčné plochy póru provedl příčné řezy pórů v rovině tkaniny, čímž předpokládal, že proud v pórech je vždy jen kolmý na plochu textilie. [9]

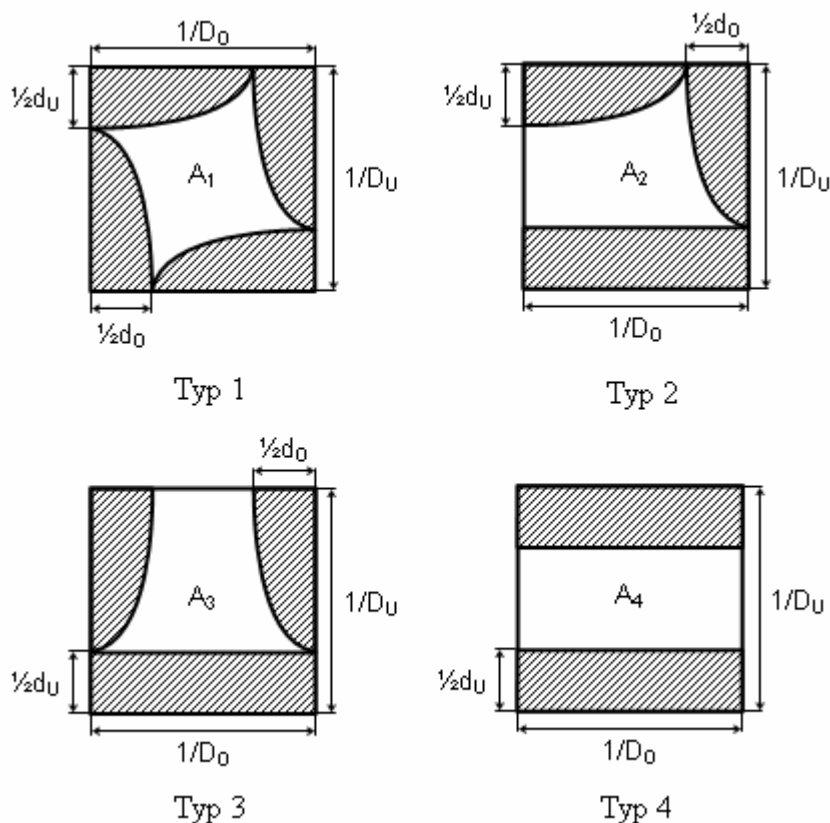
Za předpokladu šikmého směru průtoku vzduchu je na obr. č. 12 vidět, že takto získaná plocha póru (a) je větší než plocha póru získaná při provedení řezu kolmého na (šikmý) průtok vzduchu (b). Rozměr (c) získaný na základě kolmého průmětu otevřené plochy do roviny ukazuje, že takto získaná plocha póru je menší. [10]



Obr. 12 Možnosti stanovení příčné plochy póru přístupné pro vzduch [10]:

- a) řez v nejužším místě „šikmého“ póru vedený rovnoběžně s rovinou tkaniny,
- b) řez v nejužším místě „šikmého“ póru vedený kolmo na šikmý směr proudění vzduchu,
- c) řez póru interpretovaného jako průmět otevřené plochy tkaniny do roviny.

Gooijer ve své práci [8] provedl průmět omočených obvodů čtyř přízí tvořících pór v nejužším příčném řezu póru do roviny textilie. Výsledkem jsou 2-D průměty čtyř typů pórů v jejich nejužším místě, které zohledňují jejich prostorovou a tvarovou odlišnost (obr. č. 13). Obvod těchto ploch se dá popsat čtvrtinami elips.



Obr. 13 Průměty omočených obvodů čtyř typů jednotkových pórových buněk podle Gooijera [8].

Na základě vztahů pro výpočet obvodu plochy elipsy a pravoúhelníku stanovil Gooijer plochu $A_1 \div A_4$ a obvod $W_1 \div W_4$ jednotlivých typů pórů. Podrobný popis odvození vztahů je uveden v práci [8]. Vztahy pro výpočet otevřených ploch základních typů pórů $A_1 \div A_4$ jsou:

Typ 1:

$$A_1 = \frac{1}{D_O} \frac{1}{D_U} - \frac{\pi}{4} d_U \left(\frac{1}{D_O} - \frac{d_O}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_O \left(\frac{1}{D_U} - \frac{d_U}{2} \right), \quad (29)$$

Typ 2:

$$A_2 = \frac{1}{D_O} \frac{1}{D_U} - \frac{\pi}{8} d_U \left(\frac{1}{D_O} - \frac{d_O}{2} \right) - \frac{\pi}{8} d_O \left(\frac{1}{D_U} - \frac{d_U}{2} \right) - \frac{d_U}{2} \frac{1}{D_O}, \quad (30)$$

Typ 3:

$$A_3 = \frac{1}{D_O} \frac{1}{D_U} - \frac{d_U}{2} \frac{1}{D_O} - \frac{\pi}{4} d_O \left(\frac{1}{D_U} - \frac{d_U}{2} \right), \quad (31)$$

Typ 4:

$$A_4 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{1}{D_o} d_u, \quad (32)$$

Otevřenou plochu tkaniny přístupnou pro proudící vzduch lze, na základě vztahů pro výpočet ploch jednotlivých pórů podle Gooijera, stanovit pomocí vztahu:

$$P_G = \frac{m_1 A_1 + m_2 A_2 + m_3 A_3 + m_4 A_4}{\frac{1}{D_o} n_{so} \frac{1}{D_u} n_{su}}, \quad (33)$$

kde: P_G ... porozita podle Gooijera [-],

$m_1 \div m_4$... počty pórů typu 1 \div 4 obsažených ve střídě vazby [-],

$A_1 \div A_4$... plochy průmětů jednotlivých typů pórů [m²],

n_{so} a n_{su} ... počty vazných bodů (resp. počty jednotkových pórových buněk, počty nití) ve střídě ve směru osnovy a ve směru útku [-].

Výhodou tohoto modelu je jeho jednoduchost a možnost použití i pro hustě dostavené tkaniny. Také skutečnost, že pro výpočet potřebujeme znát pouze základní konstrukční parametry tkaniny je bezesporu výhodou.

5.2.3 3-D model pórů v tkanině podle Lua

3-D model pórů popsáný Luem [15] je z teoretického hlediska nejpropracovanější a snaží se o co nejpřesnější popis tvarových charakteristik mezinitného póru v tkanině. Vychází také z Backerovy definice čtyř typů pórových buněk uvedených na obr. č. 4 a dále z Peircova [24] modelu vazné vlny zakříženého úseku nitě v tkanině. Považuje nitě za neprodyšné, hladké a v celé své délce za válce s průměrem d a dále uvažuje vyrovnanou tkaninu, kde platí, že tloušťka tkaniny je rovna součtu průměrů osnovní a útkové nitě $d_o + d_u = t$. [10]

Objem zakříženého úseku nitě je podle Lua dán vztahem:

$$V = \frac{\pi d^2 \sqrt{\left(\frac{1}{D}\right)^2 - 3d^2}}{4} + 2 \frac{\pi \varphi d^3}{4}, \quad (34)$$

a jeho povrch A:

$$A = \pi d \sqrt{\left(\frac{1}{D}\right)^2 - 3d^2 + 2\pi\phi d^2}, \quad (35)$$

Celkový objem pórové buňky V_C , bez ohledu na její typ, je:

$$V_C = \frac{1}{D_O D_U} (d_O + d_U), \quad (36)$$

Vztah pro porozitu póru typu 1 je odvozen za předpokladu, že $D_O = D_U = D$, $d_O = d_U = d$ a $\phi_O = \phi_U = \phi$:

$$P = \frac{2d\left(\frac{1}{D}\right)^2 - 2V}{2d\left(\frac{1}{D}\right)^2} = 1 - \frac{\pi d \left(\sqrt{\left(\frac{1}{D}\right)^2 - 3d^2 + 2\phi d^2} \right)}{4\left(\frac{1}{D}\right)^2}, \quad (37)$$

Výsledný vztah pro podíl otevřené plochy póru typu 1 a jeho omočených obvodů je možné nalézt v příspěvku Lua [15].

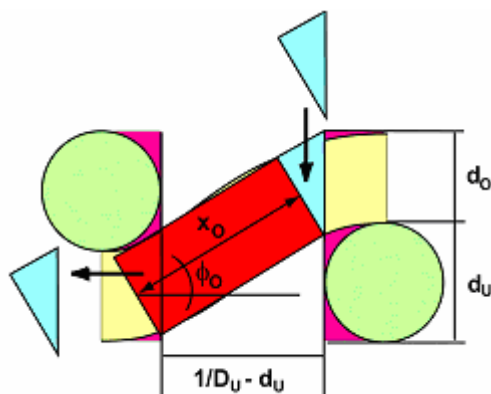
3-D model póru v tkanině uvedený Luem je pro použití v praxi relativně složitý a vlivem zjednodušujících předpokladů pro odvození složitých vztahů může vést ke zkreslení výsledků.

5.2.4 Zjednodušený 3-D model porozity tkaniny podle Havrdové

Problematikou hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin se ve své práci zabývala také Havrdová [10]. Zjednodušený 3-D model porozity tkaniny navržený Havrdovou [10] vychází z představy, že základní typy pórů dle Backera (obr. č. 4) se v místech vzájemného křížení osnovních a útkových nití nijak výrazně neliší. V místech vazných bodů je objem pórové buňky uvažován jako plně vyplněný hmotou (obr. č. 14). Havrdová dále vychází z úvahy, že pórové buňky se liší především v místech spojovacích úseků těchto vazných bodů a právě tyto úseky ovlivňují hodnoty pórovitosti a prodyšnosti.

Pórová buňka typu 1 je zaplněna nejvíce, je nejprovázanější a zároveň platí, že tkaniny obsahující pouze póry typu 1 jsou nejméně prodyšné.

Model je vhodný především pro oděvní tkaniny jako jsou např. košiloviny, kde lze předpokládat dostatek prostoru pro proudění vzduchu mezinitnými póry v tkanině.[10]



Obr. 14 Schéma zjednodušeného 3-D modelu porozity dle Havrdové [10].

Každá pórová buňka je tvořena ze dvou úseků osnovní a dvou úseků útkových nití. Buňky se od sebe navzájem liší různými kombinacemi zakřivených a nezakřivených úseků těchto nití. Celkový objem libovolné pórové buňky V_C je dán vztahem [10]:

$$V_C = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} (d_o + d_u), \quad (38)$$

Celkový objem pórové buňky je částečně vyplněn hmotou příze. V případě nezakřiveného úseku je objem příze v pórové buňce menší než v případě zakřiveného úseku. V místech vazných bodů je objem pórové buňky uvažován jako plně vyplněný hmotou příze. Tento objem lze pro celou buňku stanovit na základě vztahu [10]:

$$V_{VB} = d_o d_u (d_o + d_u), \quad (39)$$

Nezakřivené a zakřivené spojovací buňky jsou zahrnuty do vazné buňky jako polovina válce a objemy lze počítat jako [10]:

$$V_{ZO-} = \frac{\pi d_o^2}{8} \left(\frac{1}{D_u} - d_u \right), \quad (40)$$

$$V_{ZO+} = \frac{\pi d_o^2}{8} \frac{\left(\frac{1}{D_u} - d_u \right)}{\cos \theta_o}, \quad (41)$$


kde: V_{ZO-} ... objem nezakřiveného spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce [m^3],

V_{ZO+} ... objem zakřiveného spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce [m^3],

θ_o ... úhel provázání osnovní nitě [$^\circ$].

Pro objemy nezakříženého a zakříženého úseku útkové nitě ve vazné buňce je potřeba ve vztazích (40) (41) změnit indexy $O \leftrightarrow U$.

Z důvodů nesymetričnosti póru typu 3, jak jej navrhl Backer (obr. č. 4), navrhuje Havrdová navíc rozlišení pórové buňky typu 3A a 3B podle její orientace v tkanině následovně:

- Pór 3A  - obsahuje 2 nezakřížené osnovní úseky a 2 zakřížené útkové úseky.

- Pór 3B  - obsahuje 2 zakřížené osnovní úseky a 2 nezakřížené útkové úseky.

Na základě uvedených vztahů (38) – (41) a geometrie základních typů pórových buněk navrhl Havrdová [10] vztahy pro vyjádření „prázdných objemů“ pro všechny pórové buňky, tj. $V_1, V_2, V_{3A}, V_{3B}, V_4$.

Pro výpočet porozity tkaniny s libovolným typem vazby byl stanoven vztah :

$$P_H = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2 + m_{3A} V_{3A} + m_{3B} V_{3B} + m_4 V_4}{V_C n_{SO} n_{SU}}, \quad (42)$$

kde: $P_H \dots$ porozita podle Havrdové [-],

$m_1 \div m_4 \dots$ počet pórů typu 1 ÷ 4 obsažených ve střídě vazby [-],

$V_1 \div V_4 \dots$ objemy pórových buněk typu 1 ÷ 4 nevyplněných hmotou příze [m^3],

n_{SO} a $n_{SU} \dots$ počty vazných bodů ve střídě ve směru osnovy a útku [-].

Všechny výše uvedené modely porozity tkaniny vycházejí ze zjednodušujícího předpokladu, že nit je uvažována jako válec s kruhovým, tedy nedeformovaným průřezem. V místech zakřížení osnovních a útkových nití však vždy dojde k určitým deformacím, proto je u modelu dle Havrdové zaveden předpoklad deformace průřezu nitě.

Nevýhodou tohoto modelu je, že kromě parametrů D_O, D_U a d_O, d_U je potřeba znát ještě úhel provázání osnovní a útkové nitě. Pro stanovení tohoto parametru jsou přijímány další zjednodušené předpoklady, což může opět vést ke zkreslení výsledků.

Souhrnný parametr struktury tkaniny podle Havrdové

Schopnost tkaniny propouštět vzduch je dána nejen počtem pórů ve tkanině, ale rovněž i jejich vzájemným uspořádáním. Pro přesnější hodnocení vztahu mezi strukturou a její prodyšností se proto jeví jako nedostatečné popisovat strukturu textilie pouze její porozitou. Pro popis struktury tkaniny byl Havrdovou [10] navržen souhrnný

parametr S_T zahrnující kromě porozity tkaniny P také stupeň provázání f a nově zavedený parametr označovaný jako relativní posunutí provázání sousedních útkových nití u :

$$S_T = P * f^u, \quad (43)$$

kde: S_T ... souhrnný parametr podle Havrdové [-],

P ... porozita tkaniny [-],

f ... stupeň provázání [-],

u ... relativní posunutí provázání sousedních útkových nití [-].

V případě základních keprových nebo atlasových vazeb je v jednom řádku střídá vazby vždy pouze jeden osnovní nebo pouze jeden útkový vazný bod. Vzájemné posunutí dvou sousedních útkových nití je stejné v celé střídě vazby. V takových případech lze relativní posunutí sousedních útkových nití popsat vztahem [10]:

$$u = \frac{n_{POS}}{n_{SO}}, \quad (44)$$

kde: n_{SO} ... počet osnovních nití ve střídě vazby tkaniny [-],

n_{POS} ... počet vazných bodů, o které je vzájemně posunuto zakřížení sousedních útkových nití [-].

Tento souhrnný parametr struktury je použitelný pouze pro základní vazby, v čemž spočívá jeho hlavní nevýhoda.

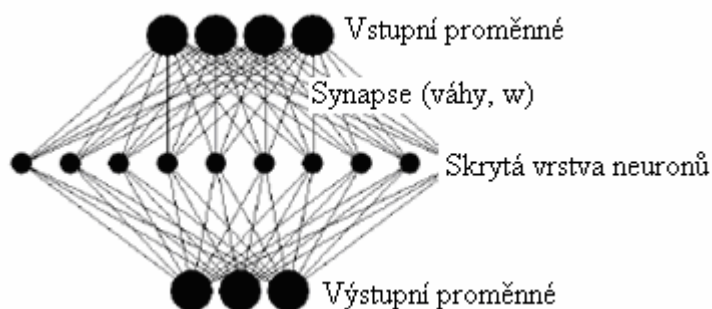
5.2.5 Predikce prodyšnosti pomocí neuronové sítě

Další možností hodnocení pórovitosti tkanin je stanovení porozity pomocí neuronové sítě (obr. č. 15). Neuronová síť je v současnosti velmi populární a výkonná metoda, která se používá k modelování vztahu mezi vícerozměrnou vstupní proměnnou x a vícerozměrnou výstupní proměnnou y . Inspirací pro neuronové sítě byla struktura mozkové tkáně, kde je neuron propojen tzv. synapsemi s několika jinými neurony. Synapsemi přitom protékají informace, které jsou každým neuronem zpracovány a předány dalšími synapsemi do dalších neuronů. Poznatky z neurofyzologie vedly k vytvoření zjednodušených matematických modelů, které lze využít k řešení řady praktických komplexních úloh (rozpoznávání, učení, predikce, klasifikace aj.). Úspěšnost využití neuronových sítí je dána především častou přítomností nelinearit

v datové struktuře řešených úloh. Neuronové sítě jsou rovněž schopné realizovat u stejných dat různé modely řešení. [39]

Tyto sítě použili ve svých pracích Brasquet a Cloirec [2], Tokarska [38] nebo Militký a kol. [16]. Brasquet a Cloirec se zabývali studiem poklesu tlaku na obou stranách textilie, přes kterou prochází voda nebo vzduch, a zkoumali vliv vstupních parametrů na výslednou hodnotu zkoumané veličiny. Experimentálně naměřená data pak modelovali prostřednictvím neuronové sítě. Jako vstupní parametry byly použity základní charakteristiky tkaniny (počet pórů, tloušťka plošné textilie, plocha pórů, pórovitost) a zahrnuty byly i vlastnosti prostupujícího média (viskozita, měrná hmotnost, Reynoldsovo číslo). Vliv konstrukčních parametrů tkaniny (dostava a zákrut osnovních a útkových přízí) na výslednou prodyšnost tkaniny zkoumala ve své práci také Tokarska [38]. [9]

V obou případech poskytovaly modely na bázi neuronových sítí lepší predikční schopnost než klasické modely pro porézní materiály (podrobně viz. [2]). Využití neuronových sítí pro predikci prodyšnosti se jeví jako rychlý a poměrně jednoduchý nástroj s relativně dobrou predikční schopností, lze proto předpokládat, že v blízké době bude jejich využití neustále narůstat.



Obr. 15 Schéma neuronové sítě [39].

6. METODY A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI

Jak bylo uvedeno výše, stanovení prodyšnosti lze rozdělit do dvou skupin. První skupinu představují metody založené na tvrzení, že porozitu je možné brát jako strukturální ekvivalent propustností, dá se tedy hovořit o zjišťování porozity (kap. 4.). Druhou skupinu představují metody experimentálního zjišťování prodyšnosti na základě měření pomocí zkušebních přístrojů. Měření prodyšnosti lze v případě druhé skupiny rozdělit na:

Klasické

U klasického měření je vzorek orientován kolmo k proudícímu vzduchu v celé jeho ploše a podmínky měření stejně jako uspořádání zkoumaného materiálu jsou jiné než je tomu při nošení oděvního výrobku.

Pro měření prodyšnosti lze použít přístroje:

- FF – 12/A METEFEM,
- M021S,
- FX 3300.

Alternativní

Tato metoda přibližuje podmínky měření prodyšnosti k podmínkám vyskytujícím se při reálném nošení oděvu a to jak z hlediska geometrie zkoumaného vzorku, tak i z hlediska rychlosti a charakteru proudění.

6.1 Měření prodyšnosti „klasickým“ způsobem

Prodyšnost plošných textilií se standardně hodnotí dle normy ČSN EN ISO 9237. Měření prodyšnosti je založeno na určení rychlosti proudu vzduchu procházejícího kolmo určitou plochou zkušebního vzorku při stanoveném tlakovém spádu.

Uvedená norma je použitelná pro různé typy prodyšných plošných textilií. Zkušební podmínky jsou v této normě pouze doporučené a umožňují volit alternativní zkušební plochu a podtlak.

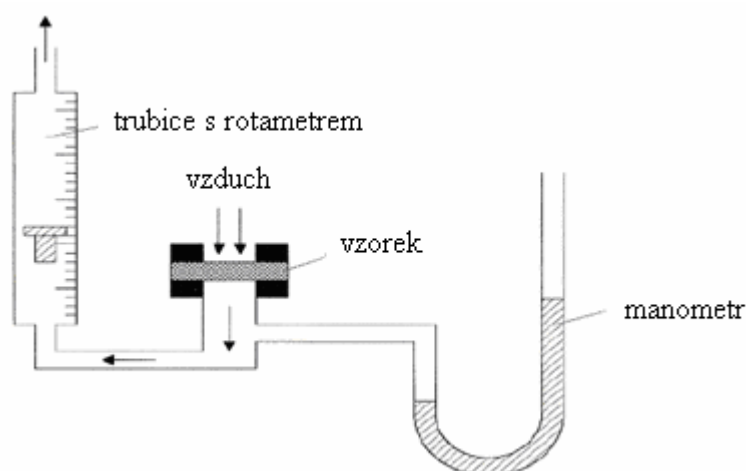
Doporučené zkušební podmínky jsou:

Zkušební plocha: 20 cm²

Tlakový spád: 100 Pa pro oděvní plošné textilie

200 Pa pro technické plošné textilie

Přístroje a vlastní principy měření jsou si velmi podobné, jsou založeny na proudění vzduchu přes měřenou textilií, která je upnuta v čelistech přístroje. Požadovaný tlakový rozdíl mezi oběma stranami měřené textilie je nastaven pomocí manometru. Množství vzduchu, které projde přes textilií za ustálených podmínek, je odečítáno na trubici s rotametrem nebo na plynoměru. Velmi důležité je věnovat pozornost způsobu upnutí vzorku v čelistech a přesnému nastavení tlakového spádu mezi oběma stranami textilie, tak aby vlivem netěsností nedocházelo k úniku vzduchu a zkreslení naměřených hodnot. [10]



Obr.16 Schéma přístroje na měření prodyšnosti [30].

Z naměřených hodnot množství prošlého vzduchu textilií a z velikosti zkoušené plochy vzorku se následně vypočte prodyšnost dle vztahu:

$$AP = \frac{\bar{q}_V}{A} \cdot k, \quad (45)$$

kde: AP ... prodyšnost [mm/s],

\bar{q}_V ... aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu, jednotka je závislá na typu přístroje, může být např. [l/min], [ml/s],
 A ... zkoušená plocha textilie [cm²],
 k ... přepočítávací faktor pro přepočet objemového průtoku vzduchu na rychlost proudění vzduchu. Jeho hodnota závisí na jednotkách, ve kterých měří použitý přístroj [-].

6.1.1 FF – 12/A METEFEM

Starší typ přístroje maďarské výroby je určen pro měření prodyšnosti oděvních textilních materiálů, technických textilií, ale i impregnací upravených textilních materiálů. Přístroj je k dispozici na TUL – FT – KTM nebo KNT.

Přes zkoušenou textilií upnutou v kruhové čelisti přístroje je ventilátorem sán vzduch. Požadovaný tlakový spád je nastaven manometrem. Množství nasávaného vzduchu při nastaveném tlakovém spádu je měřeno zařízením, kterým je trubice s rotametrem, ve kterém je umístěn plováček. Množství vzduchu, které prošlo plochou zkoušené textilie, je odečítáno na stupnici plováčkového průtokoměru. Pro oděvní textilie se dle normy nastavuje tlakový spád 100 Pa při ploše čelisti 20 cm². [12]

Parametry přístroje:

Zkušební plocha	10, 20, 50, 100 [cm ²]
Rozsah tlaku	0-1,96 [kPa]
Rozsah průtoku vzduchu	4-8000 [l.h ⁻¹]



Obr. 17 Přístroj pro měření prodyšnosti plošných textilií FF- 12/A [34].

6.1.2 Air Permeability Tester M021S

Jedná se o novější verzi přístroje FF – 12/A, která je k dispozici na TUL – FT – KTM nebo KOD. Přístroj slouží pro měření propustnosti vzduchu plošných textilií prosáváním vzduchu přes vzorek textilie vakuovou pumpou. Objem průtoku vzduchu v $[\text{ml.s}^{-1}]$ je měřen vybraným průtokoměrem při specifikovanému podtlaku, který je nastavován na trubici manometru. [29]

Parametry přístroje:

Zkušební plocha	5, 20, 38 $[\text{cm}^2]$ pomocí výměnných hlav
Rozsah tlaku	0-2 $[\text{kPa}]$
Rozsah průtoku vzduchu	0,18-1440 $[\text{l.h}^{-1}]$

Výsledky zkoušky jsou obvykle vyjádřeny jako propustnost vzduchu v $[\text{ml. cm}^2.\text{s}^{-1}]$.



Obr. 18 Přístroj pro měření prodyšnosti plošných textilií M021S [34].

6.1.3 Přístroj pro zjišťování prodyšnosti textilií č.v. 2104 P1

Přístroj byl sestaven konstrukční kanceláří Polymertest, Zlín a je využíván laboratoří firmy Inotex, Dvůr Králové nad Labem. Je vhodný pro měření jedno i vícevrstvých souborů, pro oděvní materiály, technické textilie i textilie upravené impregnacemi či různými zátěry.

Zkušební vzorek je vložen mezi čelisti, spuštěním krytu jsou čelisti automaticky sevřeny a dochází k upnutí vzorku. Tlak vzduchu je nastavován digitálně. Průtok vzduchu odečítán na jednom ze tří kalibrovaných plováčkových průtokoměrů. Vyžaduje se kontrola těsnosti přístroje, která je prováděna pomocí neprodyšné fólie umístěné místo měřené textilie. [26]

Parametry přístroje:

Zkušební plocha	5, 20, 50, 100 [cm ²]
Rozsah tlaku	0-2 [kPa]
Rozsah průtoku vzduchu	10-10 000 [l.h ⁻¹]

6.1.4 Přístroj pro měření prodyšnosti vzduchu FX 3300

Přístroj je vhodný pro rychlé, jednoduché a přesné stanovení prodyšnosti všech druhů hladkých materiálů s hustou dostavou, až po extrémně prodyšné materiály tvořící plst'. Přístroj je k dispozici na TUL – FT – KHT. [37]

Zařízení je plně elektronické, vhodné jak pro laboratorní měření, tak pro přímé měření ve výrobě. Vzorek je sevřen v čelistech nad testovací hlavou, pákou je přitlačen směrem dolů, kde je automaticky spuštěn sací ventilátor. Požadovaný tlakový spád je udržován elektronicky na konstantní hodnotě. Propustnost je zobrazována digitálně na výstupní jednotce.

Parametry přístroje:

Zkušební plocha	5, 20, 25, 38, 100 [cm ²]
Rozsah tlaku	0,098-2,5 [kPa]
Rozsah průtoku vzduchu	7-100 000 [l.h ⁻¹]



Obr. 19 FX 3300 společnosti TEXTTEST [37].

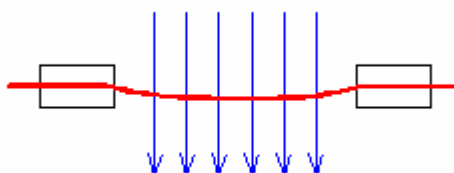
6.1.5 Chování tkaniny při prostupu vzduchu

Vlivem působení proudu vzduchu na vzorek, který je umístěn v čelistech přístroje pro měření prodyšnosti, dochází k deformaci struktury tkaniny. Následkem deformací může být zvětšení prodyšnosti. Deformacemi způsobenými prouděním vzduchu se zabývala Havrdová [10], podle níž lze změnu porozity v závislosti na deformaci rozdělit na:

- horizontální nárůst porozity,
- vertikální nárůst porozity,
- rozhrnování vnějších vrstev příze.

Horizontální nárůst porozity

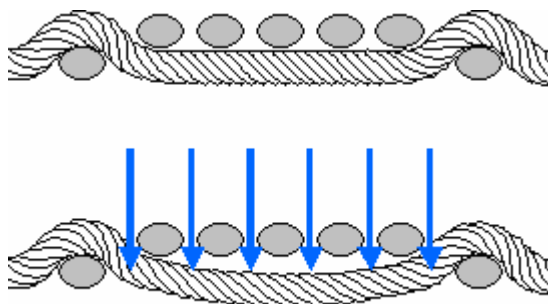
Horizontální nárůst porozity způsobuje průhyb vzorku textilie upnutého v kruhové čelisti přístroje ve směru proudícího vzduchu (obr. č. 20). V důsledku toho odchází ke zvětšování zkušební plochy textilie vlivem rozevírání pórů do stran. Deformace může být příčinou zkreslení výsledků měření, proto je vhodné pro omezení takového průhybu podložit vzorek podpěrnou mřížkou. [10]



Obr. 20 Schématické znázornění průhybu textilie způsobeného proudícím vzduchem [9].

Vertikální nárůst porozity

Důsledkem tohoto jevu je vzájemné oddalování delších volně flotujících (neprovázaných) úseků nití ve směru proudícího vzduchu (obr. č. 21). Vzájemným pohybem ve vertikálním směru dochází ke vzniku přídatných pórů, čímž dochází k zvýšení prodyšnosti prouděním skrz tyto nové póry. Na velikost této deformace má vliv rychlost proudícího vzduchu a především délka volně flotujících nití, která je dána použitou vazbou. [9]



Obr. 21 Schématické znázornění volně flotující nitě a nově vzniklého vertikálního póru vlivem působení proudícího vzduchu na volně flotující nit. [9].

Rozhrnování vnějších vrstev

Při tomto jevu dochází k přimykání oblastí „chlupatosti“ k relativně kompaktnímu jádru příze. Důsledkem této deformace se mění struktura textilie a bude mít patrně větší vliv v případě přízi s „větší chlupatostí“. [9]

6.1.6 Aspekty měření ovlivňující reprodukovatelnost získaných výsledků

Během měření je třeba věnovat zvýšenou pozornost určitým aspektům, které by mohly vést ke zkreslení získaných výsledků. Mezi tyto aspekty patří především správné upnutí zkoušeného vzorku a přesné nastavení tlakového spádu mezi oběma stranami textilie.

Způsob upnutí vzorku textilie

Upnutí vzorku textilie by mělo být takové, aby se minimalizovalo riziko vzniku netěsností u okrajů vzorku. Pro snížení tohoto rizika je vhodné opatřit povrch upínací hlavičky gumovým těsněním. Svěrná síla upínacích čelistí by měla být při každém měření stejná, nedodržením stejného dotažení čelisti mohou být výsledky měření zkresleny.

Tlakový spád mezi oběma stranami textilie

Platí, že rychlost proudu vzduchu u dané textilie roste s rostoucí hodnotou nastaveného tlakového spádu. Velmi podstatné je proto správné nastavení tlakového spádu, při němž je prodyšnost textilie zjišťována. Hodnoty prodyšnosti naměřené při

různých hodnotách tlakového spádu mezi sebou nelze jednoduše přepočítat. Nastavená hodnota musí být vždy součástí protokolu o zkoušce.

Obsluha zařízení

V případě použití přístrojů s plováčkovým průtokoměrem se od obsluhy přístroje vyžaduje jednak nastavení tlakového rozdílu, při němž je měření prováděno a dále odečtení naměřené hodnoty na trubici průtokoměru. Citlivost ovladačů není vždy stejná a poloha plováčku může kolísat, záleží tedy zcela na obsluze přístroje, jakou polohu plováčku považuje za správnou.

Vliv vlhkosti vzduchu

Vliv vlhkosti vzduchu procházejícího přes textilií vzrůstá zejména při použití přírodních vláken, která při přijímání vlhkosti bobtnají a mění strukturu hodnocené textilie. Následkem je uzavírání pórů vedoucí k snížení prodyšnosti textilie. Experimenty využívající zvlhčený vzduch se více přibližují reálným podmínkám, kde dochází k prostupu vzduchu a vodních par současně.

6.1.7 Porovnání „klasických“ měřících metod

Jak bylo zmíněno výše, principy a metody měření jsou si v mnoha ohledech velmi podobné, v podstatě se jedná o prosávání vzduchu zkoušeným vzorkem. Podstatné jsou však parametry zařízení, ve kterých se zkušební přístroje liší.

V tabulce č.1 je uvedeno srovnání základních parametrů jednotlivých přístrojů.

Tab. 1 Parametry přístrojů

Přístroje	Rozsah tlaku [kPa]	Rozsah průtoku [l.h ⁻¹]	Zkušební plocha [cm ²]
M021S	0-2	0,18-1440	5, 20, 38
FF – 12/A METEFEM	0-1,96	4-8000	10, 20, 50, 100
č.v. 2104 P1	0-2	10-10 000	5, 20, 50, 100
FX 3300	0,098-2,5	7 -100 000	5, 20, 25, 38, 100

Při standardním měření prodyšnosti oděvních textilií na dostupných měřících přístrojích nastává v případě textilií vyznačujících se vysokou hodnotou prodyšnosti (tkaniny s otevřenou strukturou, pleteniny) problém, kdy se měřená hodnota dostává nad rozsah měřícího přístroje. Tak tomu může být při využití přístroje M021S nebo FF-12/A. V takových případech je nutné přistoupit k použití alternativních postupů měření: menší upínací plochy, proměření hodnocené textilie uložené ve dvou či více vrstvách nad sebou, čímž se sníží průtok vzduchu, nebo nastavit nižší hodnotu tlakového spádu (rozsah 40 - 200 Pa).

Problematikou stanovení prodyšnosti tkanin s vyšší hodnotou prodyšnosti se zabývala Havrdová [10], která na základě experimentálních měření odvodila vztahy pro výpočet prodyšnosti jedné vrstvy podle toho, přes kolik vrstev bylo provedeno měření. Použitím přepočtových vztahů uvedených v Interní normě č. 33- 302 – 01/01 [45], lze použít starší přístroje i v případě relativně velmi porézní tkaniny. Přepočtové vztahy umožňují hodnoty prodyšnosti změřené za alternativních podmínek přepočítat na hodnoty, které odpovídají normou doporučeným podmínkám (20 cm² upínací plocha a 100 Pa tlakový rozdíl) [44]. Norma dále umožňuje také odhad hodnot prodyšnosti vícevrstvého souboru tkanin z různých typů materiálu a to na základě znalosti hodnot prodyšnosti jeho jednotlivých vrstev.

Je třeba podotknout, že platnost interní normy [45] je omezena pouze pro oděvní tkaniny s maximální tloušťkou 0,6 mm jako jsou košiloviny, šatovky, lehčí oblekovou, podšívkoviny, tkaniny pro stolní či ložní prádlo apod. Není vhodné její použití pro tkaniny elastické, počesané, tkaniny s vlasem či tkaniny s plastickými vzhledovými úpravami. Nelze ji rovněž aplikovat na pleteniny, které mají výrazně odlišné vlastnosti, které vyžadují odvození jiných přepočtových vztahů. [45]

Kromě využití výše uvedených možností pro řešení zmíněného problému lze dále přistoupit také k technickým úpravám stávajícího přístrojového vybavení (M021S, FF-12/A) nebo zakoupení či vývoji nového přístroje s širším rozsahem měření. Ze srovnávací tabulky přístrojů je zřejmé, že vyšším požadavkům by měl nejlépe vyhovovat elektronický přístroj pro zkoušení prodyšnosti vzduchu FX 3300, který se vyznačuje nejširším rozsahem tlakového spádu a průtoků vzduchu. Nabízí také nejvíce variant zkušebních ploch a je plně automatický.

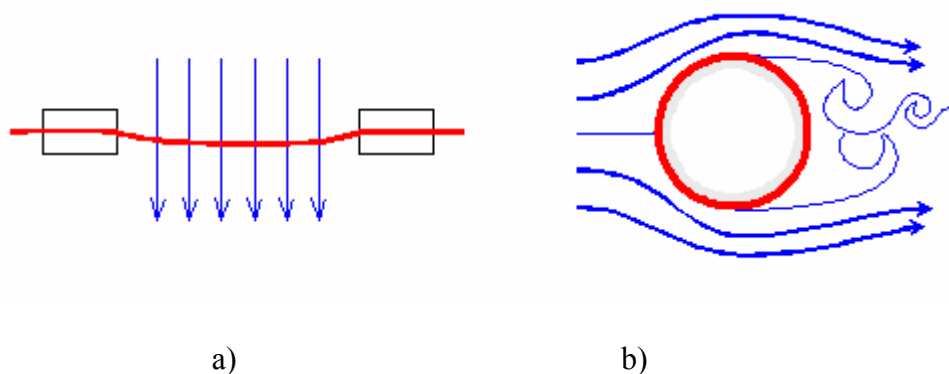
6.2 Měření prodyšnosti „alternativním“ způsobem

Hodnocení prodyšnosti alternativním způsobem (obr. č. 22 b) simuluje zkušební podmínky odpovídající reálným podmínkám, pro které jsou vyrobené oděvy určené, což je jeho hlavní výhodou. Nevýhodou je časová náročnost měření a potřebná velikost vzorku.

6.2.1 Měření prodyšnosti v podmínkách proudícího vzduchu

V současné době, kdy neustále roste poptávka po oděvech pro sport a volný čas, jenž mají za úkol zabezpečit maximální komfort nošení, je potřebné zjistit informace o tom, jak se tyto materiály budou chovat v konkrétních podmínkách nošení. Standardní metody měření prodyšnosti se stávají nedostačující, jelikož neodpovídají reálným podmínkám nošení oděvu a také z hlediska problémů, které nastávají při měření textilních materiálů s vysokou hodnotou prodyšnosti (např. pleteniny, rouna). Je proto nezbytné hledat nová řešení umožňující splnění současných požadavků.

Nová metoda pro hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu byla navržena Halasovou [9]. Její návrh měření prodyšnosti za podmínek rychle proudícího vzduchu v aerodynamickém tunelu přibližuje podmínky měření k podmínkám vyskytujícím se při nošení oděvu jednak z hlediska rychlosti a charakteru (turbulence) proudění, tak z hlediska geometrie zkoumaného vzorku. Vzorek je v tomto případě ve tvaru válce (rukáv) či elipsy (trup), což lépe charakterizuje oděvní výrobek. Uspořádání měření vychází z představy lidské paže, reprezentované pevným válcem, která je chráněná rukávem oděvu. Rukáv představuje oděvní sendvič skládající se z vrstev různých typů oděvních materiálů podle toho, jakou funkci plní v soustavě sportovního oblečení. Mezi pevným válcem a oděvním sendvičem se nachází prostor vyplněný vzduchem, ve kterém je měřena rychlost proudění vzduchu procházejícího přes oděvní sendvič. Cílem metody je zjistit a popsat, jak rychle bude proudit vzduch pod vrstvami tvořícími oděv v závislosti na rychlosti proudícího větru a tlakových změnách po obvodu válce způsobených právě obtékáním větru. [9]

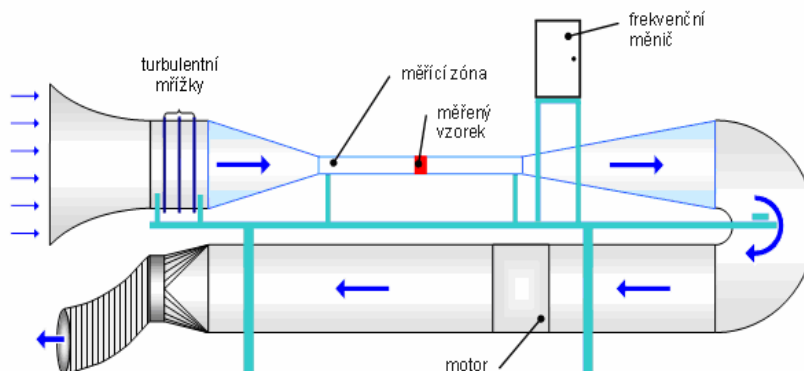


Obr. 22 Schéma měření a) klasický způsob b) alternativním způsob [9].

6.2.2 Aerodynamický tunel

Měření prodyšnosti v podmínkách rychle proudícího vzduchu nejlépe umožňuje aerodynamický tunel.

Aerodynamický tunel pro hodnocení prodyšnosti a tepelně izolačních vlastností byl na katedře oděvnictví textilní fakulty sestaven v letech 2001- 2002. Tunel pracoval původně na principu uzavřené cirkulace vzduchu. V následujících letech bylo vzhledem k jeho nedostatkům (nerovnoměrný profil rychlosti v šířce měřicí zóny, nadměrné zahřívání vzduchu uvnitř tunelu) přistoupeno ke změnám. Došlo k prodloužení tunelu, odejmutí kolena na vstupu trati a původní axiální motor byl nahrazen motorem radiálním, který má motorovou část vně větrné trati. Výsledkem byl otevřený model větrné trati (obr. č. 23) s relativně velkým vstupním konfuzorem a třemi turbulentními mřížkami, které mají za úkol rozbít velké vstupní víry na malé a vytvořit tak tunel s definovaným turbulentním prouděním. [9]



Obr. 23 Schéma otevřené větrné trati [9].

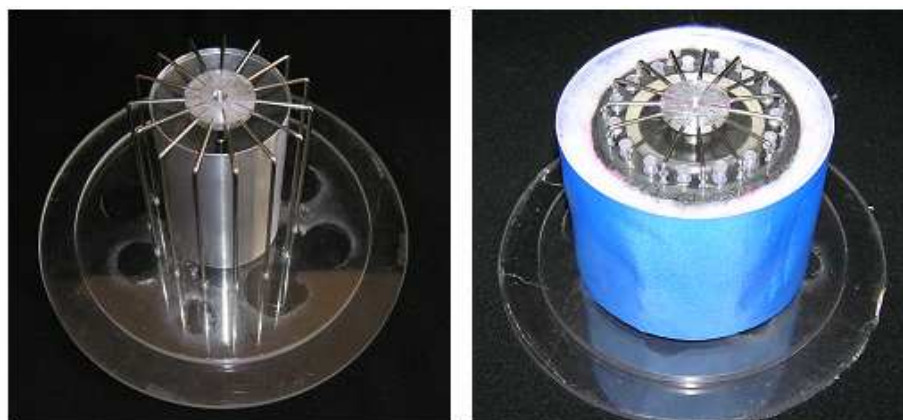


Obr. 24 Pracoviště s aerodynamickou otevřenou větrnou tratí pro měření v podmínkách rychle proudícího vzduchu [9].

Parametry aerodynamického tunelu

Dosavadní aerodynamický tunel, který byl použitý i v práci Halasové [9] měl celkovou délku větrné trati 5 m a jednu měřicí zónu s rozměry 0,1 x 0,4 x 1,2 m. Měřicí zóna spolu s vstupním konfuzorem a výstupním difuzorem je vyrobena z organického skla, což umožňuje detailní pohled na chování zkoumaných textilií.

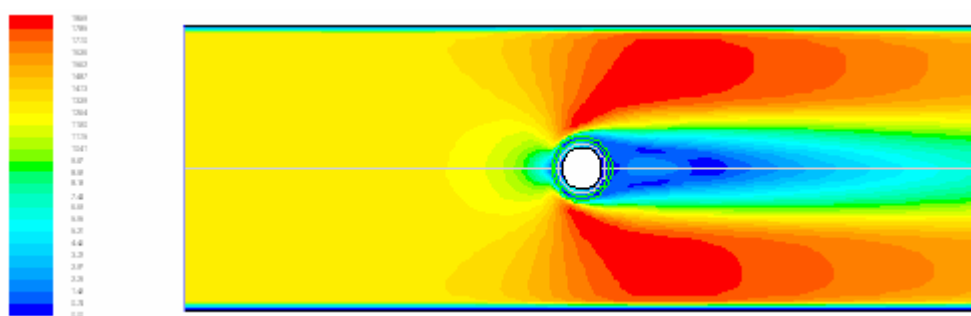
Přípravky pro zjišťování fyziologických vlastností oděvních materiálů za podmínek rychle proudícího vzduchu jsou zhotoveny v podobě kruhového válce představujícího model lidské paže (obr. č. 25). Průměr válečku je 0,08 m a výška 0,1 m (je dána výškou měřicí zóny). Přípravky jsou umísťovány do středu měřicí zóny tak, aby osa válce byla kolmá na směr proudícího vzduchu. Přípravek pro měření prodyšnosti byl Halasovou [9] zkonstruován tak, aby byla mezi válečkem a spodní textilií oděvního sendviče konstantní mezera 10 mm. V meziprostoru je pak měřena rychlost proudění vzduchu procházejícího přes oděvní sendvič, k čemuž se používá dvou robustních kuličkových termoanemometrických sond společnosti TESTO s měřicí kuličkou o průměru 3 mm.



Obr. 25 Přípravek pro měření prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách proudícího vzduchu [9].

Rychlost proudění vzduchu v tunelu lze nastavit v rozsahu $0 - 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a je zabezpečena pomocí radiálního ventilátoru napojeného na třífázový asynchronní motor. Parametry proudění (jako je rovnoměrnost rozložení rychlostí, míra a velikost turbulence) v otevřené formě větrné trati je možno zjišťovat použitím metody PIV (Particle Image Velocimetry). Jedná se o techniku měření umožňující získat informace o okamžitém rozložení rychlostí v dvourozměrném poli v proudící tekutině. [9]

Dále je vhodné uvést možnost využít modelování proudění pomocí FEM (Finite Element Method). V případě úloh z oblasti proudění tekutin se využívá výpočetní metoda označovaná jako CFD (Computer Fluid Dynamics), jenž umožňuje pozorovat dynamiku proudících částí. Cílem modelování je porovnání výsledků naměřených v aerodynamickém tunelu s numerickým CFD modelem simulujícím obtékání válce. [9]



Obr.26 Ukázka výsledku numerického modelování prodyšnosti v podmínkách rychle proudícího vzduchu v podobě proudových polí [9].

Z výsledků práce Halasové [9] vychází najevo, že měření rychlosti proudění vzduchu pod vrstvou oděvního sendviče v podmínkách rychle proudícího vzduchu má určité nedostatky (nesymetričnost podél osy proudění vzduchu v aerodynamickém tunelu), které mohou negativně ovlivňovat výsledky. Původ těchto jevů lze pravděpodobně hledat v konstrukci samotné větrné trati (uložení radiálního ventilátoru, výstup vzduchu z tunelu, malá výška měřicí zóny, vliv stěn měřicí zóny). V současné době není aerodynamický tunel funkční a pracuje se na jeho úpravách. Do budoucna však lze, na základě závěrů z laboratorních a simulačních experimentů provedených Halasovou, přijmout vhodnost této metody hodnocení rychlosti proudění vzduchu přípravky, která reálněji popisuje chování a vlastnosti zkoumaných textilií.

7. POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE

Technickým vývojem zobrazovacích systémů se objevila možnost obohatit současné metody hodnocení prodyšnosti o využití počítačové tomografie. CT zařízení umožňuje pořizovat nejen standardní rovinné snímky, ale i celé série prostorově navazujících rovinných snímků, čímž lze získat 3D informaci o struktuře a vlastnostech plošné textilie. Proto je této oblasti věnována zvláštní kapitola.

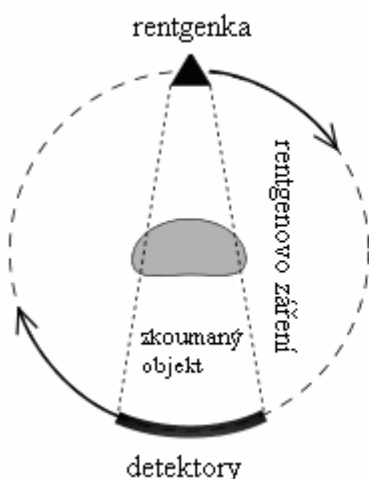
Základy počítačové tomografie položil W.C. Röntgen, který v roce 1895 objevil paprsky X. Paprsky X, známé jako rentgenové záření, vznikají při interakci rychlých elektronů s hmotou a díky své velmi krátké vlnové délce jsou schopny prozářít lidské tělo i další objekty. Objevení metody počítačové tomografie v 70. letech 20. století znamenalo převratný objev v oblasti zobrazovacích metod. Za autory počítačové tomografie (CT) jsou považováni američtí vědci Godfrey N. Hounsfield a Allan M. Cormack. Klasický lékařský rentgenový obraz obsahuje jen omezené informace o vnitřní struktuře vzorku, protože prostorová informace je ztracena během přenášení na rovinu detektorové oblasti. Cílem počítačové tomografie je získání 3D informací. [43]

Tomografie obecně znamená zobrazování v řezech, tedy strukturální zobrazování stavby zkoumaného objektu bez narušení celku. Zařízení používané pro tomografii se nazývá tomograf a výsledný obraz tomogram. Tato metoda, založená na matematické metodě zvané tomografická rekonstrukce, je dnes široce používaná nejen v lékařství, ale také v archeologii, biologii, geofyzice a mnoha dalších vědách.

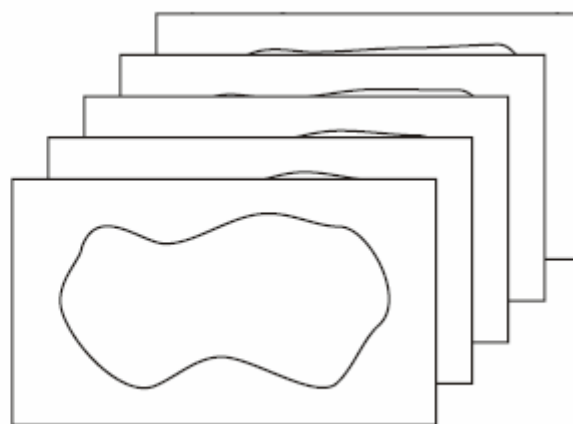
7.1 Princip počítačové tomografie

Základním principem počítačové tomografie je sběr a počítačové zpracování velkého množství údajů o hodnotě absorpce rentgenového záření. Data jsou získávána tak, že zdroj záření - rentgenka a naproti ní se nacházející detektorová soustava obíhá po kruhové dráze předmět zájmu (obr. č. 27). Záření, které je emitováno na anodě rentgenky, prochází zkoumaným objektem a po dopadu na protilehlé detektory je zaznamenána intenzita dopadajícího záření (intenzita po průchodu objektem je vždy menší než intenzita vyzářená). Intenzity se mění vzhledem k různé absorpci rentgenových paprsků. Materiály s vysokou hustotou pohlcují více rentgenových paprsků než materiály s nízkou hustotou. [43]

Reálný řez je pak z detekovaných dat rekonstruován pomocí vhodného matematického algoritmu a zobrazen na obrazovce přístroje jako množina obrazových bodů zvaných voxel. Skutečná hodnota koeficientu tlumení v daném bodě je kódována pomocí stupně šedi odpovídajícího voxelu. Výhodou počítačové tomografie je, že se vše provádí bez jakéhokoliv mechanického poškození. [43]



Obr. 27 Princip CT [42].



Obr. 28 Jednotlivé CT snímky poskládané v rovnoběžných rovinách.

7.2 Obrazová rekonstrukce

Zkoumaný objekt je prozářen z různých zorných úhlů a to tak, že všechny paprsky leží v jedné rovině. Tímto z objektu „vystříhneme“ plátek nebo řez konečné tloušťky definující vyšetřovanou oblast (obr. č. 28). Vyšetřovaný řez je pak pokryt maticí jednotkových plošných elementů, které, přihlédne-li se k nulové tloušťce řezu, jsou vlastně elementy prostorovými. Tyto objemové elementy jsou nazývány, jak bylo uvedeno výše, voxely. Každý takto definovaný voxel je prozářen mnoha paprsky najednou. Dalším krokem je tuto sumární informaci dešifrovat, zpětně rekonstruovat a přiřadit ke každému voxelu z vyšetřovaného řezu skutečnou hodnotu jeho koeficientu tlumení. [43]

Tato úloha byla matematicky vyřešena Johannem Radonem, který navrhl matematickou transformaci, známou pod pojmem Radonova transformace [43]:

$$\lambda(p, \Phi) = \mathfrak{R}(f(r)), \quad (46)$$

kde: $\lambda(p, \Phi)$... množina všech projekcí [-],

$f(r)$, $r = (x, y)$... funkce rozdělení koeficientu tlumení v rovině řezu [-].

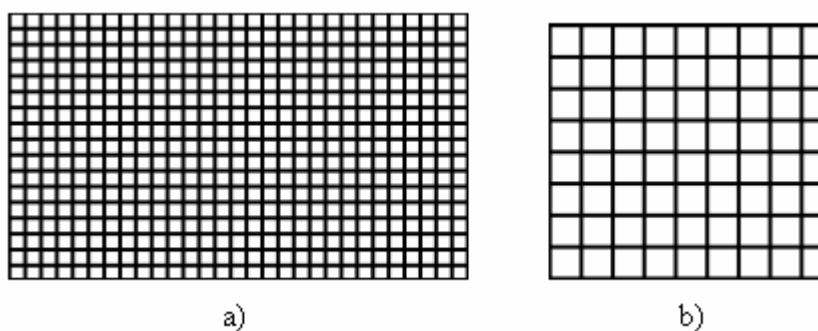
Inverzní forma Radonovy transformace \mathfrak{R}^{-1} umožňuje získat hledanou rekonstrukci obrazu řezů z jejich projekcí:

$$f(r) = \mathfrak{R}^{-1}(\lambda(p, \Phi)), \quad (47)$$

Technická realizace rekonstrukce obrazového řezu z jeho projekcí je známá pod pojmem metoda zpětné projekce. [43]

7.3 Rozlišení a barvy CT snímků

Rozlišení udává počet obrazových bodů (pixelů) na šířku a výšku snímku. Běžně používaným rozlišením pro CT snímky je 512 x 512 pixelů, u μ CT systémů se setkáváme i s rozlišením 1280x1024, 2048x2048 a 4000x2300 pixelů. Pro potřeby studování struktur textilních materiálů se jeví jako nejvhodnější rozlišení 4000x2300 pixelů, díky schopnosti pozorovat detaily menší než 1 μ m. Jemnost prostorového rozlišení je limitována především konstrukčními parametry přístroje (velikost detektoru, fokusní šířka rentgenky). Barevná hloubka pak udává počet úrovní šedé barvy, které lze rozlišit v obraze. Běžně užívané CT přístroje rozlišují maximálně 4096 stupňů jasu. [43]



Obr. 29 Rozlišení a) 4000x2300 pixelů b) 1280x1024 pixelů.

7.4 Možnosti využití Mikro- CT v textilní oblasti

Počítačová tomografie je v posledních letech čím dál tím více využívána nejen v medicíně, ale také v jiných oborech vyžadujících zpřístupnění oblastí uvnitř objektů, které jsou pro dotykové nebo optické systémy nepřístupné. V současnosti se na trhu

nachází několik výrobců výkonných mikro-tomografů (SkyScan, Scanco, Universal Medical Systems), které operují se stejnými základními principy nemocničních CT, ale s mnohem větší silou a prostorovým rozkladem. Rentgenové paprsky pronikají objektem a na vhodném detektoru ho zobrazí. V závislosti na geometrii a absorpčních vlastnostech materiálů se v různých intenzitách objevují detaily objektu. Mikro- CT pracuje v mikrometrech a je tak protikladem pro milimetry v lékařských CT snímačích.

Využití mikro-tomografie v průmyslu zahrnuje hodnocení kvality materiálů (materiálová analýza, analýza a kontrola defektů, analýza pórovitosti), provádění nedestruktivních měření a nedestruktivních porovnání součástí s CAD modelem.

Nesporné výhody těchto přístrojů jsou dnes známé i v oděvní a textilní oblasti. Zásadní je možnost sledování a rekonstrukce struktury vláken a řezů tkanin, kde je klasický způsob zdlouhavý a problematický. V současné době je určování struktury prováděno poměrně náročným postupem pomocí destruktivních metod založených na provádění velkého množství řezů vláken, ta se snímají pomocí speciálního mikroskopu a poté se skládá 3D model vlákna. Mikro- CT je schopné získat 3D model nedestruktivní cestou mnohem rychleji, přesněji a efektivněji. Výzkumníci používají μ CT rovněž pro zkoumání a předpovídání kvality textilních kompozitů, díky schopnosti sledovat každý svazek vláken odděleně i s prázdnými místy mezi svazky. Běžné aparatury nemají dostatečnou přesnost a tak nejsou patrné detaily. Mechanické vlastnosti kompozitů jsou vysoce ovlivněny defekty ve struktuře. Vhodné simulace umožňují sledovat vývoj prázdných míst, která vznikají výskytem plynů v matici nebo chybou ve zhotovení během procesů výroby.

Další příkladem využití μ CT je jedno, dvoj a trojrozměrné hodnocení transportu vlhkosti obsažené v textilií. Sestavením 3D modelu i vícevrstvé textilie lze sledovat rozložení vlhkosti mezi jednotlivými vrstvami. Získáváme tak důležité informace pro lepší pochopení transportu vlhkosti v textilních oděvních vrstvách, které lze využít při zdokonalování materiálů pro „funkční“ i běžné oděvy. V oblasti tření textilií umožňuje detailní pohled na třecí plochy v kontaktu určit skutečnou plochu dotyku, čímž lze zjistit závislosti velikosti třecí síly na ploše dotyku.

Prostřednictvím μ CT jsme také schopni na základě 3D modelu textilie analyzovat pórovitost, určovat počet a velikost pórů a jejich hustotu. Získané údaje se pak mohou využít právě k určení a hodnocení prodyšnosti textilie. Programy dodávané

společně s přístrojem zároveň provádí vyhodnocení 2D/3D obrazu, včetně poskytování statistických údajů nebo histogramu.

7.5 Využití Mikro- CT k hodnocení prodyšnosti

Znalost charakteristických rysů pórů textilií je podstatná pro návrh a výběr textilií a vyhodnocení jejich výkonnosti. Využitím výjimečných schopností μ CT systémů dokážeme charakterizovat a odhadovat vlastnosti pórovitých materiálů, analyzovat 3D data a tím detailně popsat strukturu textilie. Výhodou těchto systémů je také možnost pozorovat chování sledovaného materiálu během deformace (tah, tlak, krut).

Kromě pórovitosti a specifické plochy povrchu je možné sledovat také distribuci velikosti pórů a hodnotit pór rozložením ve třech nezávislých nasměrováních, což je dáno možnostmi rentgenovat vzorek ve všech směrech pro každý řez.

Tradiční přímé metody používané pro zkoumání pórovitých materiálů, jako jsou rtuťové porosimetry či optická mikroskopie, jsou sice schopné odhadu konstrukčních detailů ve vysokém rozlišení, trpí však stinnou stránkou potenciálního poškození struktury během přípravy a analýzy vzorku. Mikro- CT podává představu o pórovitosti v „klidovém stavu“ a poskytuje informace o tvaru (průměru, délce, klikatosti) póru nedestructivní cestou. [27]

Data získaná počítačovou tomografií mohou být dále podkladem pro další zkoumání pórovitých materiálů v zátěžových podmínkách (tlak způsobený proudícím médiem) či zkoumání vlivu klikatosti a zúžení nebo rozšíření pórů.

Na základě dat o 3D strukturálních charakteristikách, získaných počítačovou tomografií, lze dále numerickou technikou jako je Lattice Boltzmannova metoda (LBM) získat užitečné informace o toku vzduchu skrz tkaninu. Lattice Boltzmannovu metodu lze považovat za „digitální“ ekvivalent proudění, založený na výpočetní dynamice tekutin (CFD). LBM simulace proudění tekutin skrz skutečné 3D struktury tak představuje metodu, která umožňuje předvídat hodnoty propustnosti, které jsou velmi blízké experimentálním měřením. [40]

Schopnosti μ CT spojené s jejich přesností, rychlostí a detailností dělají z těchto zařízení v současné době nejefektivnější a nejlepší způsob pro zkoumání struktur

a oblastí uvnitř textilií. Detailní znalost struktur dává nové možnosti návrhů textilií a vyhodnocování jejich výkonnosti, což je při neustálém vývoji nových textilií velmi užitečné a prospěšné.

7.6 Mikro- CT systémy

Belgická společnost SkyScan patří k producentům μ CT systémů s širokým rozsahem použití. Specializuje se na vývoj systémů pro 3D nedestruktivní zkoumání objektů a jejich vnitřních mikrostruktur, pracujících na stejném principu jako počítačové tomografy užívané pro biomedicínské účely.

U standardních komerčních mikro-tomografických systémů není potřeba žádné přípravy vzorku a žádné odřezávání. Díky jednotlivému prohlížení dochází k vyobrazí kompletní vnitřní 3D struktury vzorku ve vysokém rozlišení. Nespornou výhodou je zachování nedotčeného vzorku na konci procesu. [32]

7.6.1 SkyScan 1174

Skyscan 1174 je kompaktní a přenosné mikro- CT snímací zařízení pro nedestruktivní trojrozměrnou mikroskopii. Představuje vhodné řešení pro vědecký výzkum, kontrolu jakosti a průmyslové aplikace.

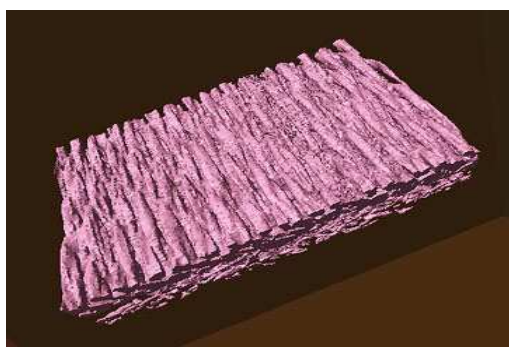
Zařízení je vybaveno procesorem Dual Intel XEON PC a kompletním skyscan softwarem pro řízení systému, který poskytuje rychlou 3D rekonstrukci, 2D/3D kvantitativní analýzu a realistickou 3D vizualizaci. Může být připojen k přenosnému počítači a umožňuje také připojení přes USB port a FireWire (IEEE1394) vstup. [32]

Příklady aplikace:

- biomedicína,
- materiálová věda,
- elektronika,
- geologie, diamanty.



Obr. 30 Skyscan 1174 [32].



Obr. 31 Ukázka aplikace Skyscan 1174 – syntetická látka [32].

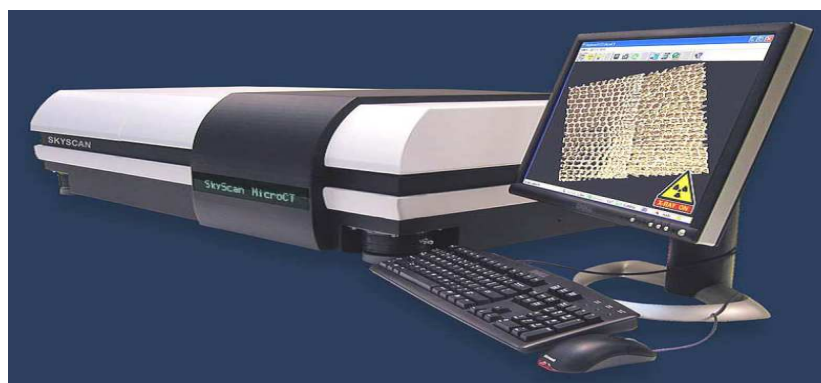
7.6.2 SkyScan 1172

Skyscan 1172 reprezentuje novou generaci v počítačových tomografických systémech. Jeho stavba má pohyblivý zdroj, což umožňuje lepší kombinaci prostorového rozkladu, obrazové kvality, velký rozsah výběru přizpůsobivosti a rychlosti rozkladu, než je tomu u starších modelů.

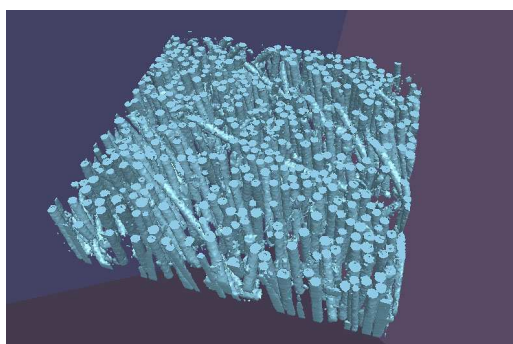
Inovační geometrie Skyscan 1172 snímacího zařízení se vyznačuje rychlejším prohlížením souboru dat a vysokou rekonstrukční výkonností, přičemž získáváme stejný nebo lepší obraz kvality oproti μ CT systémům s pevným zdrojem detektoru. Systémy jsou dostupné s 4000x2300 pixel nebo s 1280x1024 pixel CCD x- ray kamerou. Všechny snímáče jsou opět dodávány se softwarem pro 2D/3D kvantitativní analýzy a realistickou 3D vizualizaci. [32]

Příklady aplikace:

- biomedicína,
- materiálová věda, studium struktury dřeva, papíru, zrn,
- elektronika.



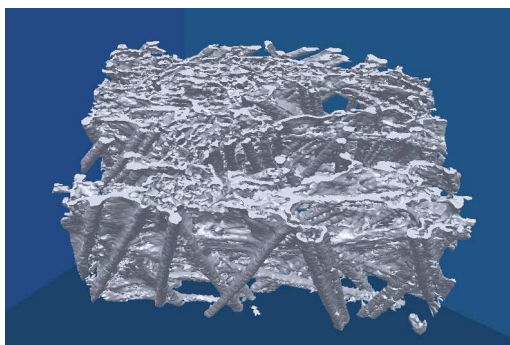
Obr. 32 Skyscan 1172 [32].



Obr. 33 Ukázka aplikace Skyscan 1172– skleněné vlákno (kompozit) [32].

7.6.3 SkyScan 2011

Zařízení SkyScan 2011 je novým laboratorním nano- CT snímacím zařízením s prostorovým rozkladem v rozsahu stovek nanometrů. Prostorový rozklad na úrovni nano je vhodným řešením pro zkoumání detailů struktur, které byly dosavadním zařízením skryté. Předmětový manipulátor umožňuje jednoduché umístění předmětu a rotaci s přesností lepší než 100nm. Předmět je snímán bez jakéhokoliv vakuového ošetření nebo další přípravy. Zařízení je dodáváno včetně softwaru pro 2D/3D kvantitativní analýzy a pro realistickou 3D vizualizaci. [32]



Obr. 34 Ukázka aplikace Skyscan 2011 – syntetická látka [32].

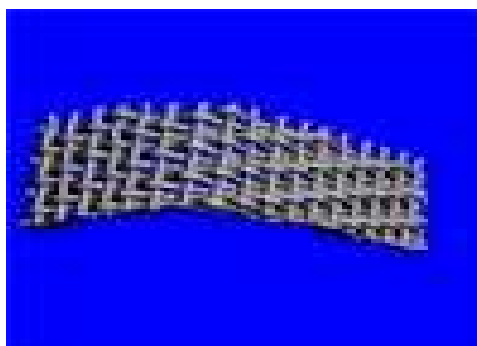
7.6.4 Mikro- CT 35

Švýcarská firma SCANCO je další ze společností zabývající se produkcí μ CT zařízení poskytujících kompletní řešení od snímání objektů, vyhodnocení měření až po archivaci dat.

Systém je dodáván společně se softwarem, má silný počítačový systém a je vybaven výkonnou pracovní stanicí. Dovoluje zpracovávat různé úlohy souběžně (schopnost změřit jeden vzorek zatímco je prováděna analýza druhého), on-line rekonstrukce během snímání či provádění jednoho nebo více řezů. Vyhodnocovací program poskytuje základní operace s obrazem, histogram, 2D/3D analýzu, měření hustoty, měření vzdálenosti (2D/3D) nebo porosity a rozložení pórů. [28]



Obr. 35 Mikro-CT 35 [28].



Obr. 36 Ukázka aplikace Mikro-CT 35 - Tkaná látka [28].

8. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala problematikou metod pro hodnocení prodyšnosti textilií. Jejím cílem bylo popsat a srovnat současné možnosti hodnocení prodyšnosti a zároveň najít nové řešení pro predikci propustnosti vzduchu. Úvodní část práce se věnuje základní charakteristice prodyšnosti textilií, zároveň je zde zahrnuta také kapitola o vlivu struktury textilie na její prodyšnost. Vzhledem ke skutečnosti, že samotná struktura tkaniny je značně komplikovaná, není možné postihnout tak široké téma v jedné diplomové práci.

Detailně je sledována problematika stanovení propustnosti vzduchu jak na základě zjišťování hodnoty porozity, tak i hodnocením prodyšnosti textilií pomocí klasických normovaných metod a aplikací alternativního způsobu měření prodyšnosti.

Srovnání všech možností hodnocení propustnosti vzduchu je poměrně komplikované, jednotlivé metody jsou založeny na odlišných principech a nalezená souvislost mezi prodyšností plošné textilie a její strukturou není přímá.

Lze konstatovat, že zjišťování prodyšnosti na základě stanovení porozity poskytuje dobré výsledky a závěry. Je však třeba mít na paměti, že se stanovení porozity provádí ve volném stavu bez účinku proudícího vzduchu, což poskytuje pouze orientační odhad hodnoty prodyšnosti. Výhodou stanovení porozity na základě modelů je to, že stačí znalost pouze základních charakteristik plošné textilie. Nevýhodou je naopak přijímání zjednodušujících předpokladů, zanedbávání 3D rozměru plošné textilie a také fakt, že každý nalezený model je platný pouze pro omezenou skupinu textilních materiálů. Pro ověření platnosti modelů jsou důležitá přímá měření.

Z tohoto hlediska doporučuji věnovat pozornost zařízením jako jsou porometry a porosimetry, které umožňují přesnou charakteristiku pórovitosti pórovitých materiálů. Dobrou predikční schopnost poskytují i modely na bázi neuronových sítí, kdy lze předpokládat, že jejich využití bude v budoucnu neustále narůstat.

V případě hodnocení prodyšnosti textilií klasickým způsobem na standardních měřicích přístrojích (jako jsou M021S nebo FF-12/A) nastává problém u textilií, které se vyznačují vyšší hodnotou prodyšnosti. Přístroje v takových případech často nevyhovují kvůli omezenému rozsahu měření. Tyto nedostatky lze eliminovat použitím

alternativních postupů měření: menší upínací plochy, změření prodyšnosti přes více vrstev hodnocené textilie nebo nastavení nižší hodnoty tlakového spádu. Následným použitím přepočtových vztahů lze získat hodnoty odpovídající normou doporučeným podmínkám. Nicméně i takovéto postupy mohou přinášet nepřesnosti. Dle mého názoru se jeví jako lepší varianta přistoupit k technickým úpravám přístrojového vybavení nebo ještě lépe zakoupit nový přístroj FX 3300 s širším rozsahem měření. Zde je nutné počítat s náklady na jeho pořízení v řádu statisíců korun.

Relativně nové je hodnocení prodyšnosti alternativním způsobem, které vzniklo na základě potřeby přiblížit podmínky měření reálným podmínkám vyskytujícím se při nošení oděvu. Nová metoda pro hodnocení propustnosti vzduchu v podmínkách rychle proudícího vzduchu v aerodynamickém tunelu tyto podmínky přibližuje. Dosavadní měření měla určité nedostatky, které byly pravděpodobně způsobeny konstrukcí větrné trati, proto je nutné pracovat na jejích úpravách. Předpokládám však, že do budoucna bude tato metoda využívána ve větší míře právě pro její výhodu reálnějšího popisu chování a vlastností zkoumaných materiálů.

Za zcela nový přístup v hodnocení prodyšnosti textilií považuji možnost využití počítačové tomografie. Díky tomuto zobrazovacímu systému jsou zpřístupněny oblasti uvnitř objektů a získáváme 3D informaci o struktuře a vlastnostech plošné textilie nedestruktivním způsobem. To je významným přínosem pro textilní oblast. Na základě 3D modelu je možné analyzovat pórovitost a hodnotit pór rozložením ve třech nezávislých nasměrováních, což lze dále použít právě k hodnocení prodyšnosti textilií.

Právě měření na principu počítačové tomografie umožňuje zařízení Mikro- CT, které mělo být pořízeno na katedru oděvnictví TU Liberec již počátkem tohoto roku. Vzhledem k vysokým nákladům bylo jeho zakoupení dočasně odloženo a hledají se zbývající peněžní prostředky. Z těchto důvodů nemohla být bohužel, jak bylo původním záměrem, pořízena data, která by potvrzovala výjimečnost metody počítačové tomografie.

Nejjednodušším doporučením by bylo Mikro- CT zakoupit, považuji ale za nutné detailně zvážit, zda se investice několika miliónů korun skutečně vyplatí a zda najde zařízení na katedře oděvnictví dostatečné uplatnění a bude využito všech jeho schopností. Na základě zjištěných skutečností o variabilitě použití systémů se domnívám, že bude-li tento systém pořízen, může sloužit i studentům ostatních kateder

Fakulty textilní TU v Liberci a významně rozšířit možnosti výzkumu této fakulty. Navíc ke kvalitě a přesnosti výsledků Mikro- CT by zřejmě bylo možné vytížit část provozu takového zařízení formou spolupráce s oděvními a textilními výrobci a dále tak propojit výzkum Fakulty textilní TU v Liberci s praxí.

V závěru své práce bych ráda konstatovala, že věřím, že se mi navzdory omezeným možnostem seznámení se s některými popisovanými přístroji podařilo zadání práce naplnit.

9. SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY

- [1] BACKER, S. The Relationship between the Structural Geometry of a Textile Fabric and its Physical Properties, Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. *Textile Research Journal*, Vol. 21, No. 9, 1951.
- [2] BRASQUET, C., LE CLOIREC, P. Pressure Drop Through Textile Fabrics – Experimental Data Modelling Using Classical Models and Neural Networks. *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, No. 15, 2000. pp. 2767-2778. ISSN 0009-2509.
- [3] DELLJOVÁ, R. A., AFANASJEVOVÁ, R. F., ČUBAROVÁ, Z. S. *Hygiena odívání*. SNTL Praha 1984.
- [4] DOSTÁLOVÁ, M., KŘIVÁNKOVÁ, M. *Základy textilní a oděvní výroby*. [Skriptum]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. 169 s.
- [5] DRAŠAROVÁ, J. *Geometrické modely tkaniny plátnové vazby - idealizace a realita*. 6 národní konference STRUTEX, Liberec 1999. str. 135-140.
- [6] DUNN, M. W. An Abbreviated Introduction to Fluid Flow Modeling & Evaluation. In: *Fiber Architects*, Chap. Biotextiles: Fluid Flow Modeling [online]. [cit. 2004-07_18]. URL: <<http://fiberarchitects.com/biomedical/fluids.html>>.
- [7] GOOIJER, H., WARMOESKERKEN, M. M. C. G., WASSINK, J. G. Flow Resistance of Textile Materials, Part I: Monofilament Fabrics. *Textile Research Journal*, Vol. 73, No. 5, 2003. pp. 437-443.
- [8] GOOIJER, H. *Flow Resistence of Textile Materials*. [PH. D. thesis]. TU Enschede, 1998. ISBN 90-36511240.
- [9] HALASOVÁ, A. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu*. [Disertační práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 124 s.
- [10] HAVRDOVÁ, M. *Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin*. [Disertační práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. 120 s.

- [11] KOLČAVOVÁ SIRKOVÁ, B. *Systém projektování textilních struktur, Část 2 „příze - tkanina“*, [Závěrečná zpráva]. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [12] KOVAČIČ, V. *Textilní zkušebnictví. Díl II.* [Skriptum]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. 73s.
- [13] KRAUSOVÁ, H. *Nové metody měření prodyšnosti*. [Diplomová práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. 55 s.
- [14] KUTÍLEK, M. *Vlhkost pórovitých materiálů*. SNTL Praha 1984.
- [15] LU, W. M., TUNG, K. L., HWANG, K. J. Fluid Flow Through Basic Weaves of Monofilament Filter Cloth. *Textile Research Journal*, Vol. 66, No 5, 1996. pp. 311-323.
- [16] MILITKÝ, J., VIK, M., VIKOVÁ, M. *Neural Networks for Porosity and Air Permeability Prediction*. International Conference Innovation and Modelling of Clothing Engineering Processes. Maribor 2003.
- [17] MILITKÝ, J., TRÁVNÍČKOVÁ, M., BEJZÍK, V. Air Permeability and Light Transmission of Weaves. *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 11, No. 2/3, 1999. pp. 116-124. ISSN 0955-6222.
- [18] NAGY, V., KOŠŤÁKOVÁ, E., VAS, L. M. *Investigation of porosity in polyester staple yarns*. 5th International conference Textil Science 2003, Liberec 2003. pp. 164-167. ISBN 80-7083-711-X.
- [19] NECKÁŘ, B. *Příze – tvorba, struktura a vlastnosti*. SNTL Praha 1990.
- [20] NOSEK, S. *Struktura a geometrie tkanin*. Ústí nad Orlicí: Výzkumný ústav bavlnářský, 1974.
- [21] NOSKIEVIČ, J. a kol. *Mechanika tekutin*. SNTL Praha 1987. str. 356.
- [22] PAŘILOVÁ, H. *Textilní zbožíznalství. Tkaniny*. [Skriptum]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 104s.
- [23] PIERCE, F. T. Geometrical Principles Applicable to the Design Functional Fabrics. *Textile Research Journal*, Vol. 17, No. 3, 1947. pp. 123-147.
- [24] PIERCE, F. T. The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 28, 1937. T45 – T96.

- [25] PMI. Products. [online]. [cit. 2008-03-07]. URL: <<http://www.pmiapp.com/products/index.html>>.
- [26] POLYMERTEST. Přístroj pro zjišťování prodyšnosti textilií, návod k obsluze, Zlín 2001.
- [27] RAMASWAMY, S., et al. The 3D Structure of Fabric and its Relationship to Liquid and Vapor Transport. *Colloids and Surfaces A: Physiochem. Eng. Aspects*, Vol. 241, No. 1, 2004. pp. 323-333. ISSN 0927-7757.
- [28] SCANCO MEDICAL. Products. [online]. [cit. 2008-04-05]. URL: <<http://www.scanco.ch/cgi-bin/scanco.pl?menu=products&site=products>>.
- [29] SDL ENGLAND. Manuál k přístroji Air Permeability Tester SDL M021S.
- [30] SHIRLEY DEVELOPEMENTS. LTD. SDL. The Catalogue No.14.
- [31] SINGH, M., MOHANTY, K. K. Permeability of spatially correlated porous media. *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, No 22, 2000. pp. 5393-5403.
- [32] SKYSCAN. Products. [online]. [cit. 2008-01-12]. URL: <http://www.skyscan.be/products/all_products.htm>.
- [33] STRZEMBOSZ, W., WAWSZCZAK, W. *Diffusion modeling of gas filtration processes*. 5th International conference Textil Science 2003, Liberec 2003. pp. 154-157. ISBN 80-7083-711-X.
- [34] Technická univerzita v Liberci. Textilní fakulta. Katedra oděvnictví; Laboratoř komfortu, Laboratoř obrazové analýzy [online]. [cit. 2008-02-20]. URL: <http://www.kod.tul.cz/index_cz.html>.
- [35] Technická univerzita v Liberci. Textilní fakulta. Katedra textilních technologií; Základy textilní a oděvní výroby– *Průměr vláken a přízí* [online]. [cit. 2008-03-12]. URL: <<http://www.ft.tul.cz/depart/ktt/default.htm>>.
- [36] Technická univerzita v Liberci. Textilní fakulta. Katedra oděvnictví ;Speciální technologie a měření v oděvní výrobě– *Využití systémů obrazové analýzy v textilní metrologii* [online]. [cit. 2008-03-12]. URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-15/14-46-13.pdf>>.
- [37] TEXTTEST Instruments. Luftdurchlässigkeits- Prü Gerät III. Zürich, manuál k přístroji FX 3300.

- [38] TOKARSKA, M. Neural Model of the Permeability Features of Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, Vol. 74, No. 12, 2004. pp. 1045-1048. ISSN 0040-5175.
- [39] TRILOBYTE. Neuronové sítě. Manuál k softwaru QC. Expert.
- [40] University of Leeds. Faculty of Engineering. Research: Institute for Materials. Research: Fibrous Structures. *Studies of Fabric Permeability. Permeability of Plain Weave Filaments Fabrics*. [online]. [cit. 2008-03-20]. URL: <<http://www.engineering.leeds.ac.uk/imr/research/fibres/Technitex%20Core%20Research%20Project.doc>>.
- [41] URSINY, P. *Předení I*. [Skriptum]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. 173s. ISBN 80-7083-481-1.
- [42] WIKIPEDIA. Počítačová tomografie. [online]. [cit. 2008-04-04]. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_tomografie>.
- [43] ZUNA, I., POUŠEK, L. *Úvod do zobrazovacích metod v lékařské diagnostice*. [Skriptum]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2000. 76 s.
- [44] Norma – ČSN EN ISO 9237 Textilie. Zjišťování prodyšnosti plošných textilií, listopad 1996.
- [45] Interní norma č. 33-302-01/01 používaná Výzkumným centrem Textil a fakultou textilní TUL.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Parametry Mikro- CT systémů

PŘÍLOHA Č. 1

Parametry Skyscan 1174

Tab.č. 1 Parametry Skyscan 1174

Skyscan 1174	
Velikost objektu	5 mm - 32 mm v průměru, 50 mm na délku (x 50mm výška)
Min. velikost pixelu	5 μ m ... 32 μ m
X-ray detektor	X-ray snímač 1280x1024 pixelů
Zdroj záření	20-50 kV, 40 Watt, bod <50 μ m, vzduchem chlazená trubice
PC vybavení	Dual Intel XEON 3.06 GHz pracovní stanice, 1 GB RAM DVD+RW, 150 GB HD, 1.44 FD, 128 MB grafický OpenGL akcelerátor, 19'' LCD monitor, síť, frame grabber pro X-ray kameru
Software	Tomo, Nrecon, CTan, CTvol, Tview, DataView, Tconv, DIconv
Cena (SW, PC systém, instalace, školení pracovníka)	EUR 55.500,- + VAT 1.533.187,50 Kč + DPH

Parametry Skyscan 1172

Tab.č. 2 Parametry Skyscan 1172

Skyscan 1172		
Rozlišení	<2 μm (model – 80 kV)	<1 μm (model -100 kV)
CCD x-ray detektor se scintilátorem – výběr ze dvou možností	1280x1024x12 Bit chlazený 1.3 Megapixel, 25 mm pole	
	4000x2300x12 Bit chlazený 10 Megapixel, 50 mm pole	
Velikost pixelu při max. zvětšení	Kamera 4000x2300: Pixel <0.9 μm , vzorek 3,6 mm	
	Kamera 1280x1024: Pixel <1.6 μm , vzorek 1,8 mm	
Maximální velikost objektu při maximálním zvětšení	Kamera 4000x2300: průměr 35 mm při standardním scanování, průměr 68 mm s offsetem kamery, pixel <9 μm	
	Kamera 1280x1024: průměr 20 mm při standardním scanování, průměr 37 mm s offsetem kamery, pixel <17 μm	
Zdroj záření	X-ray trubice pro mikro-ostření, chlazená vzduchem, životnost 10.000 h, tři pozice	
	bod <8 μm @8 W 20-80 kV, 0-100 μA (model 1172-80 kV)	bod <5 μm @4 W 20-100 kV, 0-100 μA (model 1172-100 kV)
PC vybavení	Dual Intel XEON 3.06 GHz pracovní stanice, 2 GB RAM DVD+RW, 250 GB HD, 1.44 FD, 128 MB grafika s OpenGL akcelerátorem, 19" LCD monitor, síť, digitální frame grabber pro x-ray kameru, frame grabber pro barevnou vizuální kameru	
Software	Tomo, Nrecon, CTan, CTvol, Tview, DataView, Tconv, DIconv	
Cena Kompletní systém 1172-80 kV-1.3 MP 1280x1024 kamera - 2D/3D SW, PC systém, přepravní box, 12 měsíců záruka X-ray generátor 20-100 kV, 0-100 μA , W-Target, zaostření <5 μm 10 MP, 4000x2300x12 Bit X-ray kamera, rozměr pixelu min. 0,9 μm		EUR 168.500,- + VAT (4.654.812,50 Kč + DPH) + EUR 26.200,- (723.775,- Kč) + EUR 53.150,- (1.468.268,75 Kč)

Parametry Skyscan 2011

Tab.č. 3 Parametry Skyscan 2011

Skyscan 2011	
Velikost objektu	0.5 -1 mm pro max. rozklad, 11 mm max. průměr (9µm pixel)
Správnost umístění	< 100 nm pro rotaci v průběhu rozkladu, < 200 nm celková stabilita
X-ray detektor	X-ray snímač 1280x1024 pixelů, 12 Bit CCD s FireWire výstupem
Zdroj záření	20-80 kV
Prostorový rozklad	< 150 nm velikost pixelu, 400 nm min.- kontrast (10 % MTF)
Skenovací čas	15-90 min pro celý předmět (1280x1024 pixel)

Parametry Mikro-CT 35

Tab.č. 4 Parametry Mikro-CT 35

Micro-CT 35	
Max. scanovaný průměr předmětu	36.9 mm
Max. scanovaná délka předmětu	80 mm
Rozlišení (Nominální / 10% MTF)	1,75-72 µm / 5-90 µm
Zdroj záření	bod <5 µm bod <7 µm 30-70 kV 20-50 kV (160µA)
Matice obrázku	od 512 x 512 do 2048 x 2048
Cena - systém, výkonný HW a SW, doprava, instalace, instrukce	EUR 180.000,- (4.972.500,- Kč)